

Rationelle Energieanwendung in der Landwirtschaft (REAL)

Unter Berücksichtigung vermehrten
Einsatzes erneuerbarer Energieträger

Projekt 31724 Vertrag 71'643

Ausgearbeitet durch

J.-L. Hersener; U. Meier

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Schlussbericht Juli 2001

Auftraggeber:
Forschungs- und P+D Programm Biomasse des
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

ARGE REAL:

Ingenieurbüro HERSENER
Untere Frohbergstrasse 1
CH-8542 Wiesendangen
++41 52 338 25 25

MERITEC GmbH
Elggerstrasse 36
CH-8356 Ettenhausen
++41 52 365 46 86

Autoren:

J.-L. Hersener
U. Meier

Begleitgruppe:

U. Wolfensberger
R. Wolz
Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT)
CH-8356 Tänikon

Dieses Dokument ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitet worden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist alleine der/die Autor/in/en verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb:

ENET
Egnacherstrasse 69 · CH-9320 Arbon
Tel. 071 440 02 55 · Tel. 021 312 05 55 · Fax 071 440 02 56
enet@temas.ch · www.energieforschung.ch · www.energie-schweiz.ch

Teil I: Kurzfassung „Rationelle Energieanwendung in der Landwirtschaft“

Einleitung

Die Landwirtschaft verbraucht rund 6 % des gesamtschweizerischen Energiebedarfs.

Um 'nicht erneuerbare' Energieträger zu schonen, bietet sich neben der Bereitstellung von Biomasse-Energie auch der vermehrte rationelle Einsatz der verwendeten Energieträger an. Während im Bereich Gebäudesanierung, Industrie und Fahrzeugbau der rationelle Einsatz von Energie mit grossen Anstrengungen vorangetrieben wird, sind die Bestrebungen in der Landwirtschaft noch wenig fortgeschritten.

Die vorliegende Arbeit soll aufzeigen, mit welchen Massnahmen einerseits Energie auf dem Betrieb eingespart werden kann, und andererseits, welche Möglichkeiten der Einsatz von Biomasse bietet.

Die Datengrundlage basiert auf dem Jahr 1999.

Betriebsdefinition

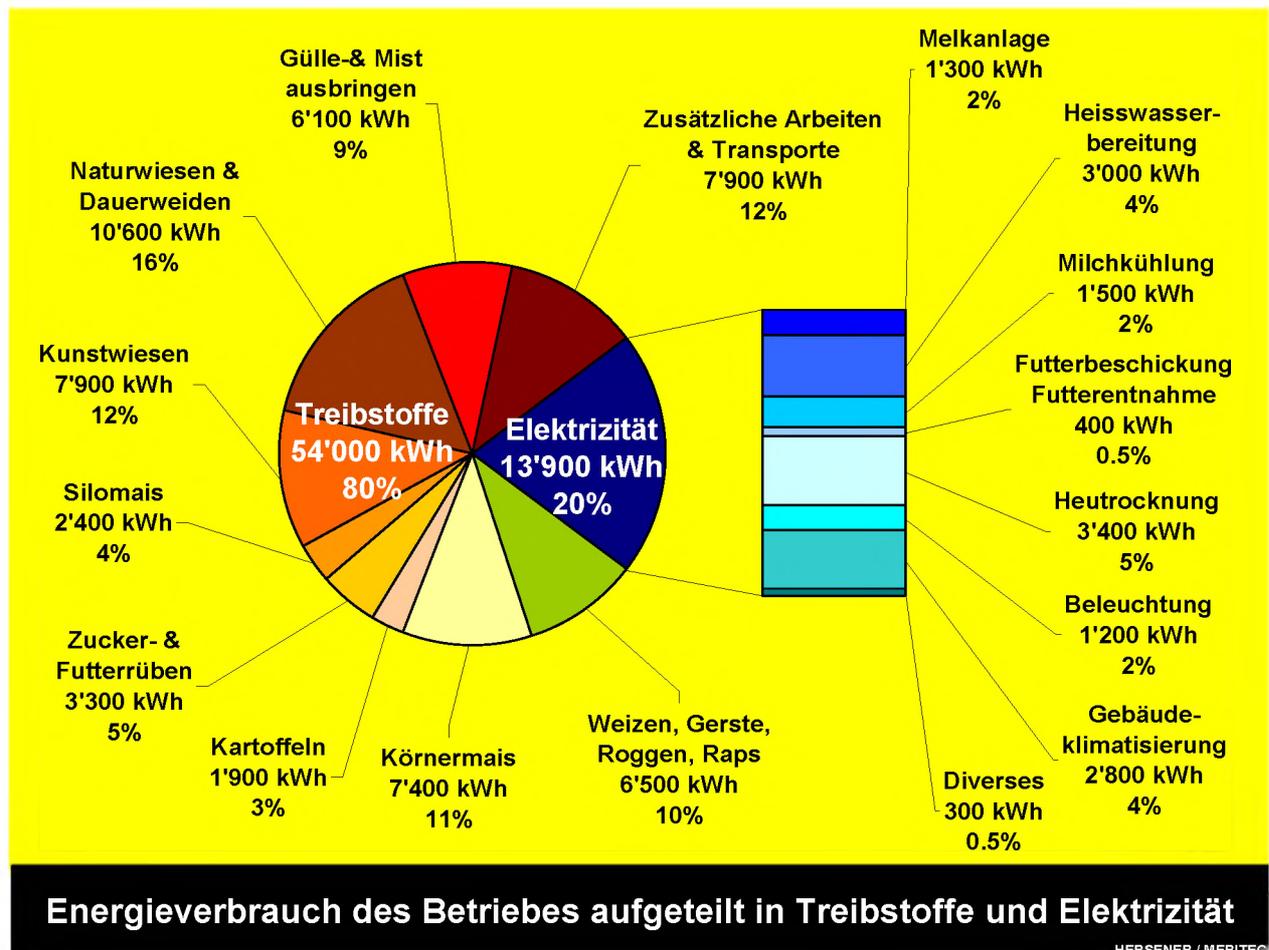
Kenndaten des definierten Durchschnittbetriebes					
Tierhaltung			Pflanzenbau		
Kühe	[GVE]	16.3	Weizen	[ha]	4.27
Aufzuchtvieh und Stiere	[GVE]	5.9	Körnermais	[ha]	3.7
Grosses Mastvieh	[GVE]	1.3	Kartoffeln	[ha]	0.63
Mastkälber	[Stück]	0.7	Zuckerrüben	[ha]	0.6
Total	[GVE]	23.5	Raps	[ha]	0.38
Eber und Mutterschweine	[Stück]	5.3	Futtermüben	[ha]	0.12
Mastschweine	[Stück]	17	Silomais	[ha]	1.27
Legehennen	[Stück]	44.7	Kunstpiesen	[ha]	3.52
			Naturpiesen, Dauerweiden	[ha]	7.79
Tierbestand total	[DGVE]	29.3	Landwirt. Nutzfläche (LN)	[ha]	22.28
			Wald	[ha]	1.85

Der landwirtschaftliche Durchschnittsbetrieb widerspiegelt die Mehrheit der Talbetriebe in der Schweiz. Die Daten des Betriebes sind in der obenstehenden Tabelle festgehalten.

Im Einzelfall müssen die Ergebnisse den speziellen Gegebenheiten des Betriebes angepasst werden. Auf Spezialbetrieben, wie beispielsweise Hühner- oder Schweinemast sowie Gemüsebau können die Verbrauchsdaten bzw. die Empfehlungen nur bedingt übernommen werden.

Gesamtverbrauch

Der Landwirtschaftsbetrieb verbraucht jährlich 67'900 kWh (244 GJ) an Energie, wovon 13'900 kWh (50 GJ) auf die elektrische Energie und 54'000 kWh (194 GJ) auf die Treibstoffe entfallen.



Der Vergleich von Elektrizitäts- und Treibstoffverbrauch zeigt, dass 76 % der Energie im Pflanzenbau und 24 % in der Tierhaltung benötigt werden. Ein Drittel der gesamten Energie verbrauchen die Ackerkulturen (ohne Kunstpiesen).

Der Elektrizitätsverbrauch beschränkt sich praktisch ausschliesslich auf die tierische Produktion, derjenige des Treibstoffverbrauchs auf das Acker- und Wiesland.

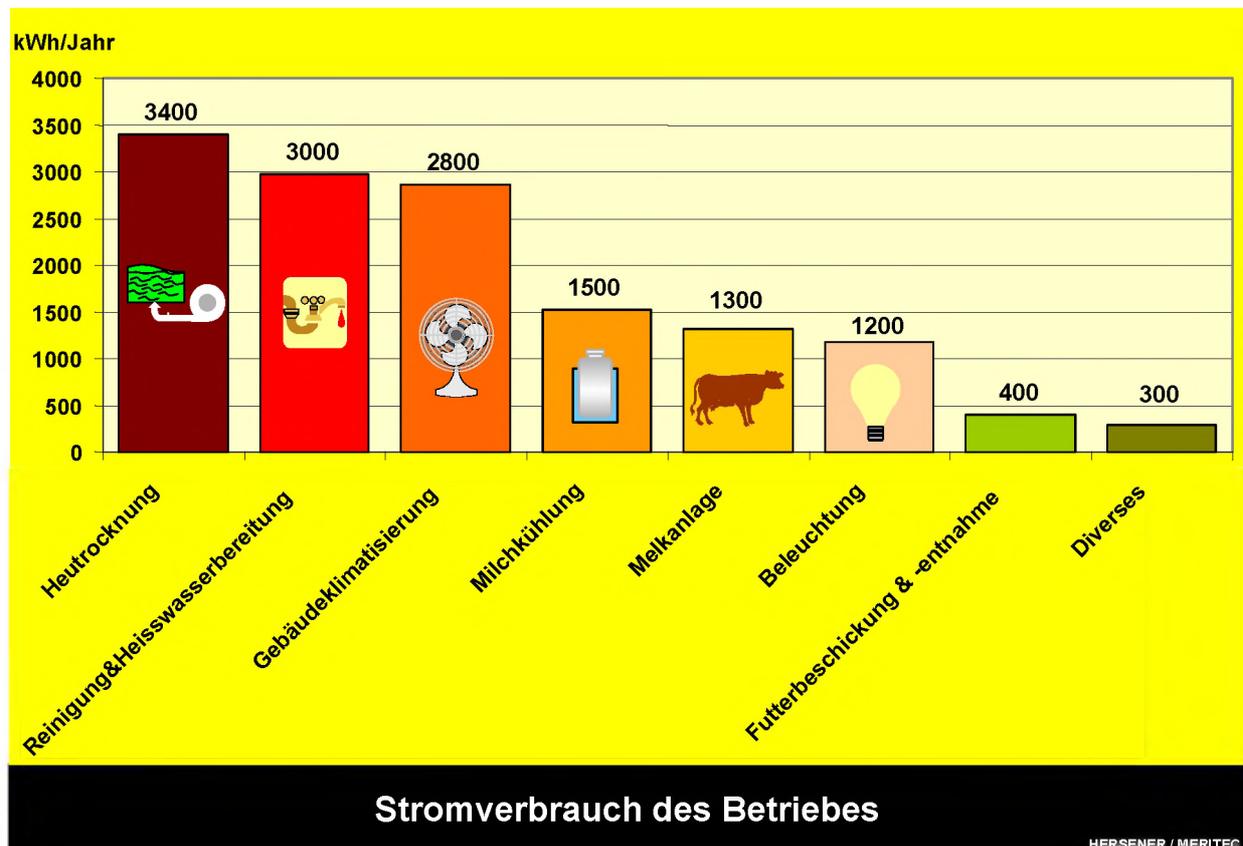
Beim Treibstoffverbrauch beläuft sich der Anteil an Diesel auf 50'000 kWh (180 GJ) oder rund 5'000 Liter und der Anteil an Benzin auf 2'000 kWh (7.2 GJ) oder 220 Liter pro Betrieb und Jahr.

Stromverbrauch

Der Stromverbrauch auf dem Durchschnittsbetrieb liegt bei 14'000 kWh (50.4 GJ) pro Jahr.

Die wichtigsten Stromverbraucher sind die:

	kWh/Jahr	GJ/Jahr
Heubelüftung	3'000-4'000	10.8 – 14.4
Heisswasseraufbereitung, Reinigung der Melkanlage	3'000	10.8
Gebäudeklimatisierung (Lüftung, Heizung, Wärmelampen)	3'000	10.8
Milchkühlung	1'000-2'000	3.6 – 7.2
Melkanlage	1'000-2'000	3.6 – 7.2



Die Heisswasseraufbereitung sowie die Heubelüftung können bis zu 25% des Strombedarfs verursachen. Für die Milchproduktion werden zwischen 9'000 und 13'000 kWh (32.4 bis 46.8 GJ) benötigt.

Zusätzliche Stallventilatoren für die Haltung von Rindern, Mastschweinen, Hühnern verursachen jährlich pro Ventilator rund 500 kWh (1.8 GJ) Mehrverbrauch.

Etwas mehr als 1'000 kWh (3.6 GJ) an Strom wird für die Beleuchtung verwendet.

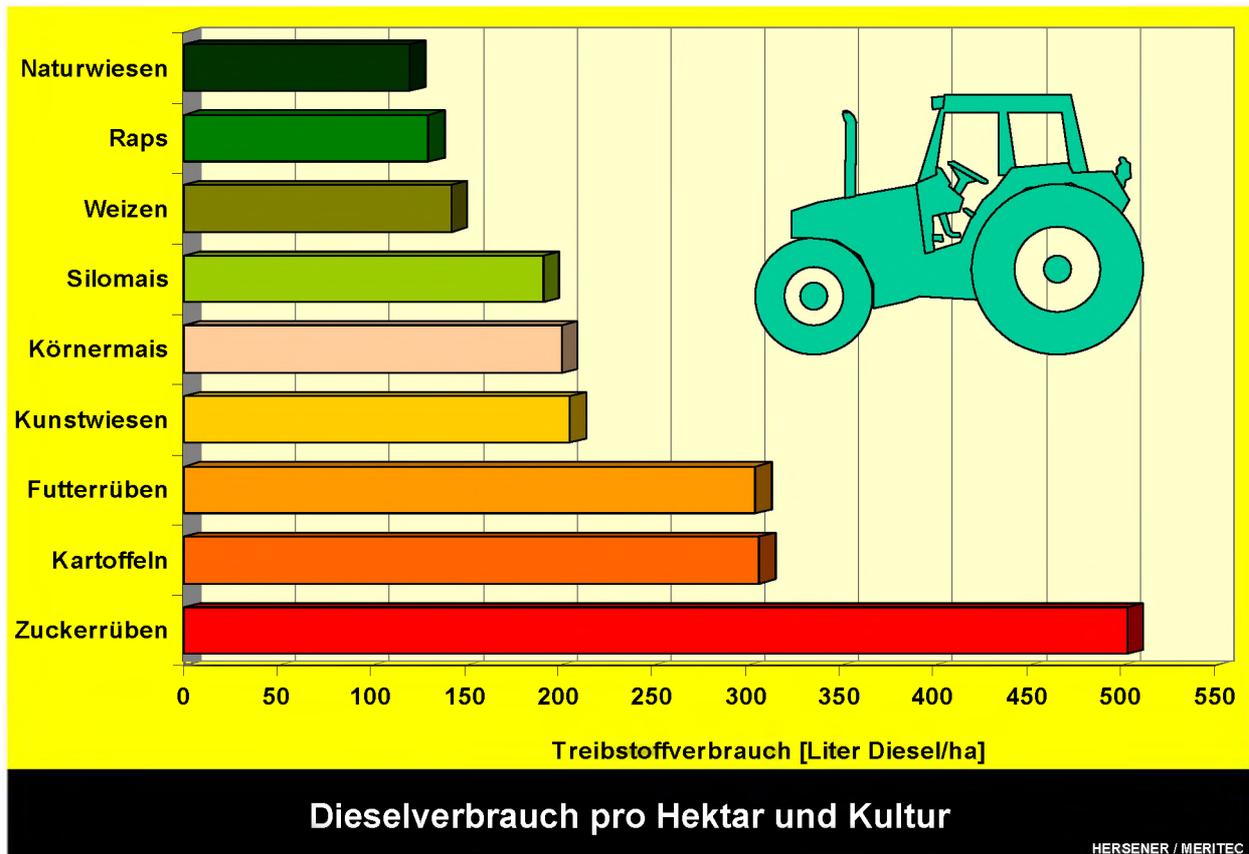
Treibstoffverbrauch

Im Ackerbau ist der Traktor das zentrale Arbeitsgerät.

Die Bearbeitung von Zuckerrüben verbraucht mit 500 l/ha weitaus am meisten Diesel.

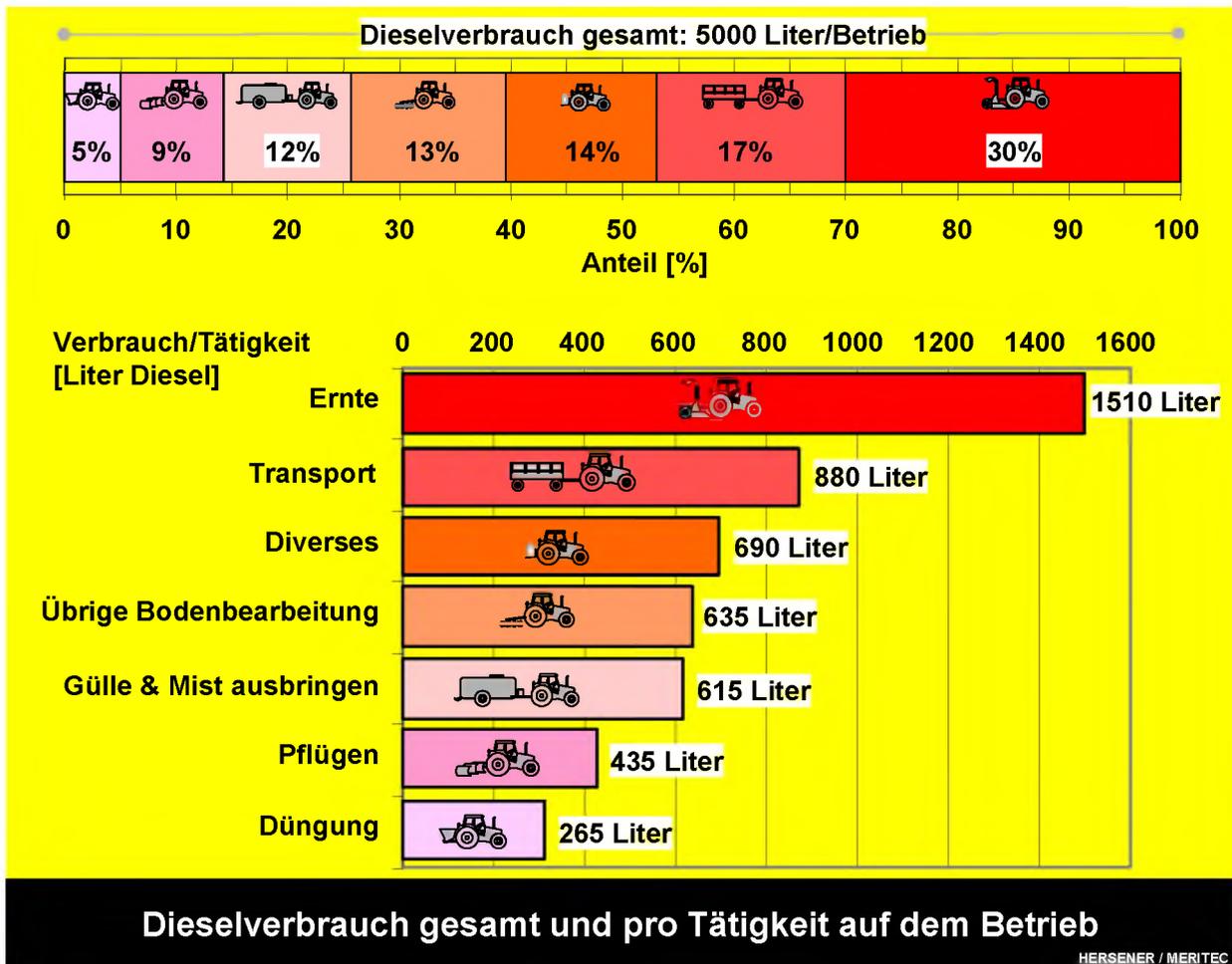
Kartoffeln und Futterrüben liegen bei 300 l/ha und am wenigsten benötigen Naturwiesen mit 110 l/ha.

Der Durchschnittsverbrauch pro ha Ackerland liegt bei rund 200 l Diesel.



Der Motormäher als wichtigster Benzinverbraucher wird vor allem für die Futterbereitstellung eingesetzt. Für verschiedene Transporte wird ebenfalls Benzin verwendet. Pro Betrieb und Jahr liegt der Benzinverbrauch bei 480 Liter entsprechend 4'350 kWh (15.7 GJ) oder rund 22 Liter pro ha landwirtschaftlicher Nutzfläche (LN).

Der Treibstoffverbrauch der einzelnen Tätigkeiten auf dem Durchschnittsbetrieb liegt bei gesamthaft rund 5'000 Liter Diesel pro Jahr bzw. bei 225 l/ha LN.



Etwa 1'500 l oder ein Drittel des Gesamtverbrauches sind für die Ernte notwendig.

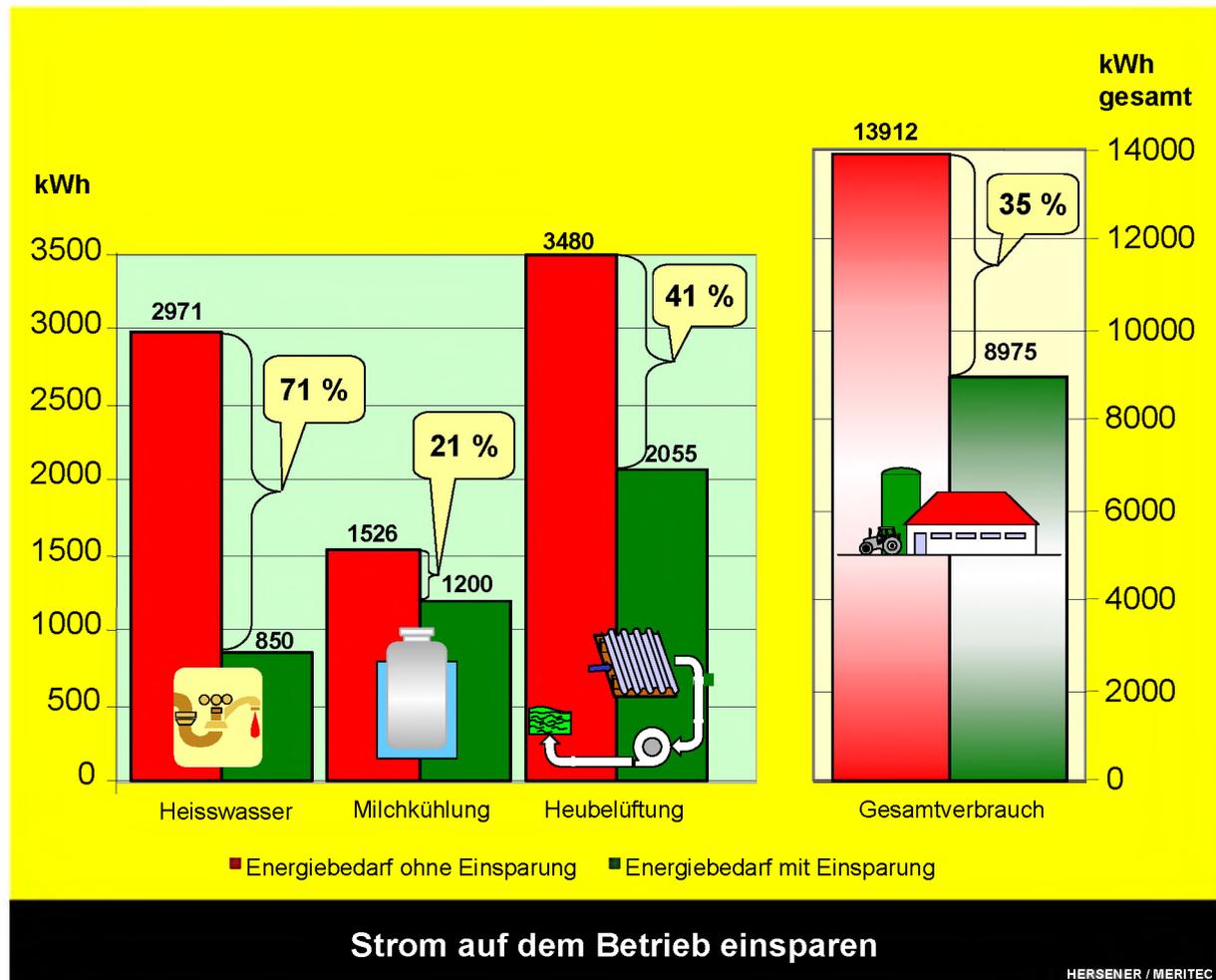
Ein Fünftel der Dieselmenge, etwa 1'000 l, wird in der Bodenbearbeitung inkl. Pflügen verbraucht.

Die restlichen 50 % der Dieselmenge werden für Transporte und Düngung benötigt.

Einsparung an elektrischer Energie

Die wichtigsten Energieeinsparmöglichkeiten in der Innenwirtschaft betreffen die:

- Heisswasserbereitstellung,
- Milchkühlung sowie
- Heubelüftung.



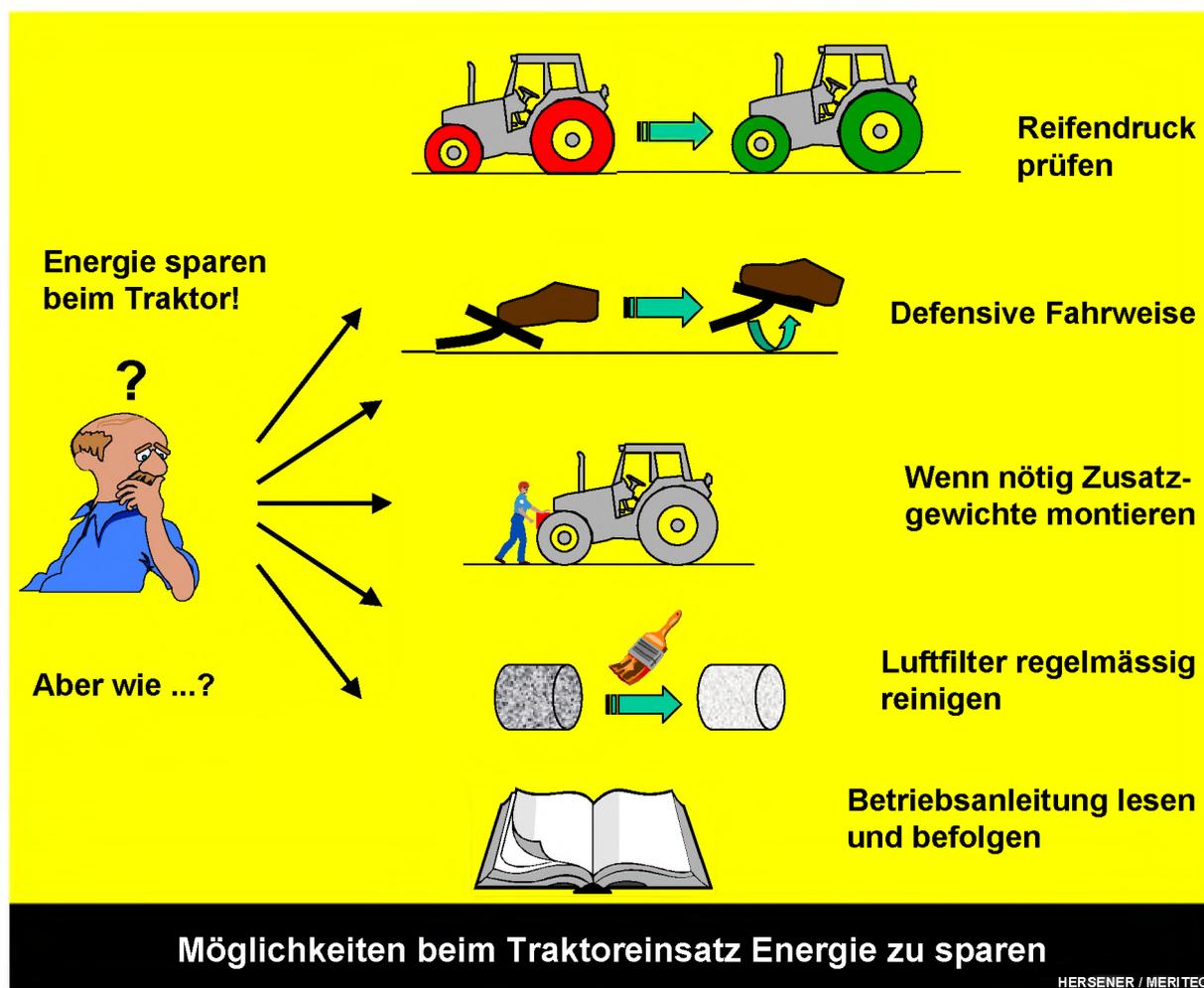
Beim Einsatz einer Energierückgewinnung in der Milchkühlung mit Hilfe einer Wärmepumpe können etwa 2'400 kWh (8.6 GJ) pro Jahr eingespart werden.

Wird das eingelagerte Heu mit warmer Luft aus einem Sonnenkollektor getrocknet, reduziert sich der Energieaufwand um 1'400 kWh (5 GJ).

Gesamthaft lässt sich der Bedarf an elektrischer Energie auf dem Betrieb um 35 % oder knapp 5'000 kWh (18 GJ) pro Jahr reduzieren.

Einsparung an Treibstoffen

Durch angepassten Einsatz des Traktors, Prüfen des Reifendrucks, defensive Fahrweise und durch Einhalten der Wartungsarbeiten kann grundsätzlich Treibstoff beim Traktor eingespart werden.



Weitere Möglichkeiten Treibstoff einzusparen:

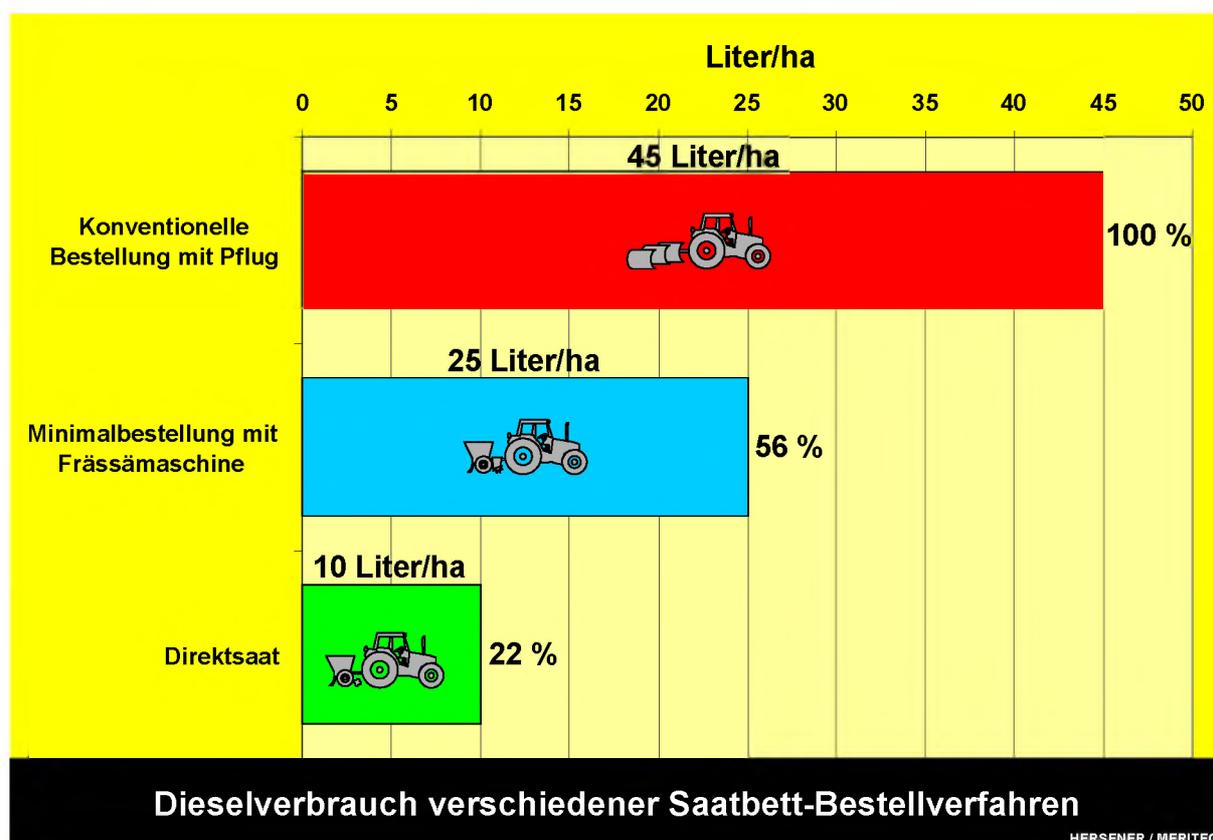
- Treibstoffsparende Fahrweise (Eco-Drive)
- Gezogene Anbaugeräte an Stelle zapfwellengetriebener Geräte verwenden
- Vermindern der Anzahl Überfahrten mit Einsatz von Anbaukombinationen

Treibstoffsparende Fahrweise (Eco-Drive)

Die „Eco-Drive“-Fahrweise senkt den Treibstoffverbrauch um 10 bis 20 %, ohne auf Leistung und Schlagkraft verzichten zu müssen. Die treibstoffsparende Fahrweise beinhaltet einerseits eine kleinere Motordrehzahl, dies bedeutet 60 bis 80 % der Nenndrehzahl des Motors, und andererseits eine höhere Motorbelastung, d.h. Wahl eines grösseren Gangs.

Die „Eco-Drive“-Fahrweise ist sowohl im Ackerbau und im Zapfwelleneinsatz als auch bei Strassenfahrten anwendbar.

Feldbestellung



Die konventionelle Bestellung mit dem Pflug benötigt 45 l/ha.

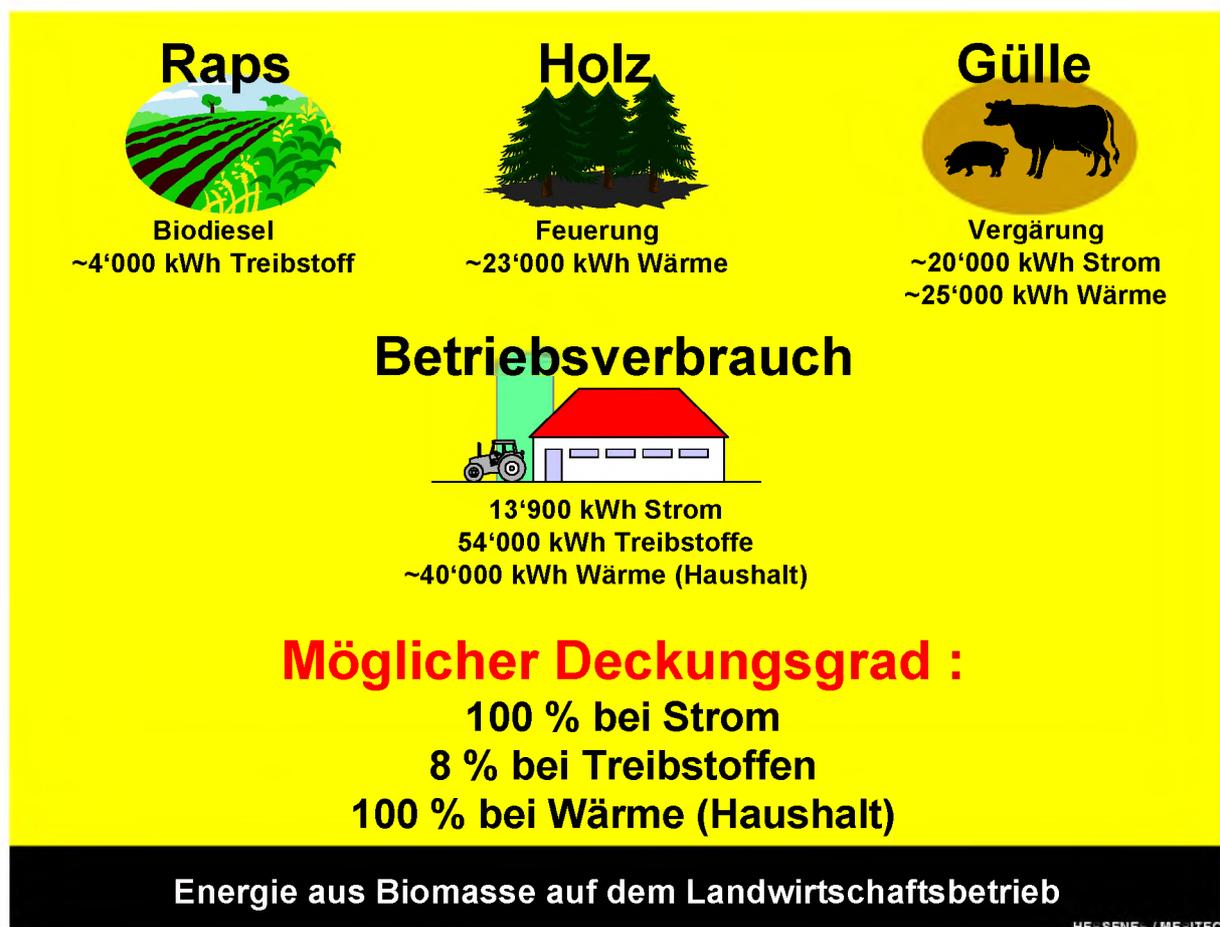
Die Feldbestellung mit Frässämaschine reduziert den Treibstoffverbrauch um 20 l/ha oder 45 % gegenüber der konventionellen Bestellung mit Pflug.

Die Direktsaat mit einem Verbrauch von etwa 10 l/ha bringt im Vergleich zum Pflug eine Verminderung von sogar 35 l/ha oder 78 %.

Einsatz von Biomasse

Raps, Holz und Gülle stellen auf dem Landwirtschaftsbetrieb die wichtigsten energetisch nutzbaren Biomassesortimente dar. Insgesamt können rund 4'000 kWh (14.4 GJ) als Treibstoffersatz durch RME, 23'000 kWh Wärme (83 GJ) aus der Holzenergie und 20'000 kWh (72 GJ) Strom sowie 25'000 kWh (90 GJ) Wärme aus der Vergärung von Gülle zur Verfügung gestellt werden.

Ohne Berücksichtigung der Wärme kann durch die Biomasse ein Drittel des jährlichen Energiebedarfs des Betriebs gedeckt werden.



Gesamtschweizerisch könnten mittelfristig mit der energetischen Nutzung von Holz etwa 1.1 Mrd. kWh (4'000 TJ), wobei nur der Privatwaldanteil der Landwirtschaft gerechnet wurde, bereitgestellt werden. Von landwirtschaftlicher Ausgleichs-, Natur- und Landschaftspflegeflächen kommen etwa 1.1 Mrd. kWh (4'800 TJ), von Mist und Gülle 0.1 Mrd. kWh (400 TJ) und von RME 55 Mio. kWh (200 TJ) hinzu. Insgesamt liegt das energetisch nutzbare Biomasspotential von landwirtschaftlichen Betrieben bei 2.6 Mrd. kWh (9'400 TJ). Hiermit liesse sich theoretisch rund 1 % des gesamtschweizerischen Energieverbrauches decken.

Vergleich verschiedener Kulturen bezüglich Treibstoff-Input und Energie-Ertrag

Verhältnis von Treibstoff-Input zu Energie-Ertrag HERSENER / MERITEC			
Kultur	Input	Output	Input : Output
	[kWh/ha]	[kWh/ha]	
Futtermüben	3'100	32'300* inkl. Kraut	1 : 10.5
Silomais	1'900	21'800	1 : 11.3
Kartoffeln	3'100	41'400	1 : 13.4
Körnermais	2'000	32'800	1 : 16.2
Zuckerrüben	5'100	87'500* inkl. Kraut	1 : 17.3
Raps	1'300	23'400	1 : 17.8
Kunstwiesen	2'100	53'900	1 : 26.0
Naturwiesen	1'200	41'400	1 : 34.2
Weizen	1'400	53'900* inkl. Stroh	1 : 37.5

In der obenstehenden Tabelle umfasst der Input nur den Treibstoffbedarf pro ha, der zur Bewirtschaftung der entsprechenden Kultur notwendig ist. Der Output entspricht dem möglichen Energieertrag pro ha (Heizwert) des Erntegutes sowie allfälliger Nebenprodukte (Stroh usw.).

Da in diesem Vergleich die graue Energie (Dünger, Maschinenherstellung, Gebäudeanteile usw.) nicht berücksichtigt ist, handelt es sich um eine unvollständige Energiebilanz.

Die Gegenüberstellung zeigt daher nur den Stellenwert des Treibstoffeinsatzes zum Energieoutput der Ernteprodukte.

Bei den drei letztgenannten Kulturen, Kunst- und Naturwiesen sowie Weizen, handelt es sich um Pflanzen, die einen relativ geringen Energiebedarf aufweisen. Alle drei Kulturen lassen sich jedoch über die Verbrennung mit einem hohen Wirkungsgrad energetisch nutzen.

Raps und Zuckerrüben, welche ein mittleres Verhältnis von Input zu Output haben, lassen sich hingegen für die energetische Verwendung nur als Öl bzw. Alkohol nutzen. Die dazu notwendige Umwandlung erfordert dagegen einen hohen zusätzlich Energieaufwand, was den Wirkungsgrad herabsetzt.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	7
Zusammenfassung.....	8
Abstract.....	9
Résumé.....	9
1 Ausgangslage.....	11
2 Ziele der Arbeit.....	11
3 Lösungsweg.....	12
4 Ergebnisse.....	16
4.1 Vorhandene Datengrundlagen.....	16
4.1.1 BfE Statistiken.....	16
4.1.2 FAT [Studer, Jolliet, 1992].....	16
4.1.3 FAT-Fischer Modellberechnungen.....	18
4.2 Datenauswertung, weiterführende Berechnungen.....	19
4.2.1 Definition des Durchschnittbetriebes.....	19
4.3 Energieverbrauch auf Stufe durchschnittlicher Landwirtschaftsbetrieb.....	20
4.3.1 Stromverbrauch.....	20
4.3.1.1 Stromverbrauch auf Stufe Betrieb.....	20
4.3.1.2 Stromverbrauch pro Betrieb nach betriebswirtschaftlicher Ausrichtung.....	22
4.3.2 Treibstoffverbrauch.....	23
4.3.2.1 Dieserverbrauch.....	23
4.3.2.2 Benzinverbrauch.....	26
4.4 Gesamter betrieblicher Energieverbrauch.....	27
4.5 Energieverbrauch der schweizerischen Landwirtschaft.....	28
5 Einsparungsmöglichkeiten.....	29
5.1 Einsparung an elektrischer Energie.....	29
5.1.1 Milchkühlung mit Wärmerückgewinnung.....	29
5.1.2 Einsatz von Sonnenkollektoren, Wärmepumpen für die Heutrocknung.....	29
5.1.3 Silageanteil erhöhen zu Lasten von Heuproduktion.....	29
5.1.4 Tierhaltung in Offenfront-Ställen.....	30
5.1.5 Energieoptimierte Steuerung.....	30
5.2 Einsparungspotential an elektrischer Energie.....	31
5.3 Einsparung an Treibstoff.....	32
5.3.1 Optimaler Einsatz von Traktoren.....	32
5.3.2 Gezogene Anbaugeräte an Stelle zapfwellengetriebener Geräte.....	33
5.3.3 Vermindern der Anzahl Überfahrten mit Einsatz von Anbaukombinationen.....	34
5.3.4 Treibstoffsparende Fahrweise (Eco-Drive).....	34
5.3.5 Reifendruck den Verhältnissen anpassen.....	35
5.4 Einsparungspotential an Treibstoffen.....	35
5.5 Energieeinsparpotential in der Landwirtschaft.....	36

6	Substitutionsmöglichkeiten durch Biomasseinsatz	37
6.1	Flüssige und gasförmige Bioenergieträger	37
6.1.1	Rapsmethylester (RME)	37
6.1.2	Rapsölgemisch	38
6.1.3	Rapsöl	38
6.1.4	Biogas	38
6.1.5	Bioalkohol	39
6.2	Feste Bioenergieträger	39
6.2.1	Holz	40
6.2.2	Feldgehölze	40
6.2.3	Landschaftspflegematerial	40
6.2.4	Hofdüngerfeststoffe	41
6.3	Energetische Bewertung der Biomassesortimente	41
6.4	Substitutionspotential mittels Biomasseinsatz auf dem Durchschnittsbetrieb	42
7	Handlungsbedarf	44
7.1	Elektrizität	44
7.2	Treibstoffe	44
8	Schlussfolgerungen	45
9	Literaturverzeichnis	46
10	Anhang	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Betriebe nach dem Deckungsbeitrag	14
Tabelle 2: Einteilung der Betriebe nach Flächennutzung und Tierhaltung	15
Tabelle 3: Gegenüberstellung unterschiedlicher Datenquellen	18
Tabelle 4: Kenndaten des definierten Durchschnittbetriebes	19
Tabelle 5: Grunddaten für die Berechnung des betrieblichen Stromverbrauches	20
Tabelle 6: Geschätzter Stromverbrauch pro Betrieb nach deren betriebswirtschaftlicher Ausrichtung	22
Tabelle 7: Benzinverbrauch in der Landwirtschaft	26
Tabelle 8: Vergleich verschiedener Biomassesortimente	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Jährlicher Elektrizitätsverbrauch des gewählten Landwirtschaftsbetriebes [kWh]	21
Abbildung 2: Treibstoffverbrauch pro Hektar nach Kulturen	23
Abbildung 3: Jährlicher Treibstoffverbrauch auf dem Durchschnittsbetrieb nach Kulturen	24
Abbildung 4: Treibstoffverbrauch pro Arbeitsschritt und Jahr auf dem Landwirtschaftsbetrieb	25
Abbildung 5: Energieverbrauch aufgeteilt nach Treibstoff und Elektrizität auf dem gewählten Landwirtschaftsbetrieb	27
Abbildung 6: Gesamter Energieverbrauch der Landwirtschaft.....	28
Abbildung 7: Einsparung an Stromverbrauches auf dem Durchschnittsbetrieb.....	31
Abbildung 8: Vergleich des Treibstoffverbrauchs von Traktoren mit 2-Rad- und 4-Radantrieb	32
Abbildung 9: Vergleich von zapfwellengetriebenen Eggen und gezogene Federzinkenegge zur Saatbettbereitung	34
Abbildung 10: Dieserverbrauch verschiedener Bestellverfahren.....	34
Abbildung 11: Einsparung im Bereich Treibstoffe auf dem Betrieb.....	35
Abbildung 12: Energieeinsparpotential in der Landwirtschaft	36
Abbildung 13: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt im Getreidebau.....	49
Abbildung 14: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Körnermais	49
Abbildung 15: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt im Kartoffelbau	50
Abbildung 16: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Zuckerrüben	50
Abbildung 17: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Silo- und Grünmais.....	51
Abbildung 18: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Futterrüben.....	51
Abbildung 19: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Kunstwiesen	52
Abbildung 20: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Naturwiesen.....	52

Umrechnungen

Faktor	Einheit		Faktor	Einheit
1	Kilo (k)	=	10^3	Tausend
1	Mega (M)	=	10^6	Million
1	Giga (G)	=	10^9	Milliarde
1	Tera (T)	=	10^{12}	Billion
1	Peta (P)	=	10^{15}	Billiarde
1	Exa (E)	=	10^{18}	Trillion
1	J	=	1	Ws
1	kJ	=	0.277	Wh
1	MJ	=	0.277	kWh
1	MJ	=	238.9	Kcal
1	GJ	=	0.277	MWh
1	TJ	=	0.277	GWh
1	PJ	=	277	GWh
		=		
1	cal	=	4.185	J=Ws
1	kcal	=	1.16	Wh
1	kcal	=	$1.16 \cdot 10^{-3}$	kWh
1	Ws	=	1	J
1	kWh	=	3.6	MJ
1	kWh	=	860	kcal
1	MWh	=	3.6	GJ
1	MWh	=	$8.6 \cdot 10^5$	kcal
1	rm* Holz (Ster)	=	0.44	Festmeter
1	Festmeter (m3)	=	0.5	Tonnen (80% TS)
1	l Diesel	=	35.4	MJ/l
1	l Benzin	=	32.6	MJ/l
1	l Diesel	=	9.94	kWh/l
1	l Benzin	=	9.056	kWh/l
1	kg Holz(80%TS)	=	14.65	MJ
1	kg Holz(80%TS)	=	4.07	kWh
1	kg Holz(80%TS)	=	3500	kcal

rm* = Raummeter

Abkürzungen

BfE.....	Bundesamt für Energie
BfK.....	Bundesamt für Konjunkturfragen
BHKW.....	Blockheizkraftwerk
BLW.....	Bundesamt für Landwirtschaft
BUWAL.....	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
DGVE	Düngergrossvieheinheit
dt	Dezitonne
Σ	Summe
etc.....	et cetera
EW.....	Elektrizitätswerk
FAT	Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik
GJ.....	Gigajoule
GWh	Gigawattstunden
ha	Hektar
J.....	Joule
kg.....	Kilogramm
kW.....	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
LN.....	Landwirtschaftliche Nutzfläche
MJ.....	Megajoule
MW.....	Megawatt
MWh	Megawattstunden
PJ	Petajoule
PW.....	Personenwagen
th	thermisch
TJ	Terajoule
TS.....	Trockensubstanz
WKK	Wärme­kraft­koppelung

TEIL II: Ausführlicher Bericht

Vorwort

Infolge fortschreitender Rationalisierung und steigendem Kostendruck müssen auch in der Landwirtschaft immer mehr Arbeiten effizient und in kurzer Zeit, d.h. mit einer schlagkräftigen Mechanisierung mittels Einsatz von Fremdenergie verrichtet werden.

Vor hundert Jahren deckte der Landwirtschaftsbetrieb seinen Energieverbrauch weitgehend selbst. Obwohl die Landwirtschaft auch heute noch in der Lage ist eigene Biomasseenergeträger zu produzieren, werden diese weit weniger eingesetzt.

Die in diesem Bericht erarbeiteten Grundlagen über den Energieverbrauch in der Landwirtschaft sollen mithelfen, die Energie rationeller zu verwenden und Biomasse, wo möglich, wieder vermehrt einzusetzen.

Die vorliegende Studie wurde durch die freundliche Unterstützung des BFE ermöglicht. Für die hilfreiche Zusammenarbeit geht unser Dank auch an die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), die bei der Datenbeschaffung und der Definition des Durchschnittsbetriebes nützliche Hinweise geben konnte.

Der Bericht ist unterteilt in zwei Teile:

- Der erste Teil umfasst eine Kurzfassung mit den wichtigsten Ergebnissen in zusammengefasster Form und nimmt bezug auf den durchschnittlichen Landwirtschaftsbetrieb.
- Der zweite Teil beinhaltet die ausführlicheren Ergebnisse. Neben einzelbetrieblichen Daten sind zudem Daten zur gesamten Landwirtschaft erwähnt.

Zusammenfassung

Der landwirtschaftliche Durchschnittsbetrieb benötigt 50 GJ oder 13'900 kWh an elektrischer Energie und 178 GJ bzw. 5'000 l Treibstoffe.

Der gesamte Energiebedarf der schweizerischen Landwirtschaft liegt bei 9'980 TJ. Der Stromverbrauch beläuft sich auf 2'800 TJ oder 775 GWh. 178 Mio. l Diesel und 27 Mio. l Benzin oder 6'300 TJ bzw. 880 TJ werden als Treibstoffe benötigt.

Zur Berechnung des landwirtschaftlichen Energieverbrauchs wurde ein Durchschnittsbetrieb definiert, der einen Gemischtbetrieb im Talgebiet widerspiegelt. Beim Stromverbrauch pro Betrieb erfolgte eine differenziertere Berechnung auf der Basis der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung. Der Treibstoffverbrauch kann mittels Praxiserhebungen bei Diesel relativ genau auf die einzelnen Kulturen bzw. deren Bearbeitungsschritte berechnet werden. Zusätzlich sind für die Ausbringung der Hofdünger, weitere Transporte sowie der Tierhaltung zuteilbare Verbrauchswerte hinzuzurechnen. Beim Benzinverbrauch kommen neben dem Motormäher weitere Verbrauchsdaten mit dem PW, wie die Milchablieferung und sonstige Fahrten oder Transporte dazu.

Das Einsparungspotential an Strom auf dem Durchschnittsbetrieb liegt unter realistischen Annahmen bei 3'400 kWh pro Jahr bzw. 12 GJ (25 %) und unter optimistischen Annahmen bei 4'900 kWh oder knapp 18 GJ (35 %). Die wichtigsten Einsparmöglichkeiten bieten die Energierückgewinnung bei der Milchkühlung und die solare Heutrocknung.

Beim Treibstoffverbrauch kann eine Einsparung von 400 l pro Jahr (7 %) realisiert werden. Unter optimistischen Annahmen könnte der betriebliche Treibstoffverbrauch sogar auf rund 4'240 l pro Jahr bzw. um knapp 16 % verringert werden. Die ECO-Fahrweise, der Einsatz von gezogenen an Stelle von zapfwellengetriebenen Bearbeitungsgeräten sowie die Verwendung von Anbaukombinationen zur Verminderung der Anzahl Bearbeitungsgänge tragen am meisten zu einer Reduktion des Treibstoffverbrauches bei.

Substitutionsmöglichkeiten durch den Einsatz von Biomasse bieten sich insbesondere im Bereich von Holz und Biogas aus der Vergärung sowie von Güllenfeststoffen und RME. Mittelfristig könnte die energetischen Nutzung von Holz, landwirtschaftlicher Ausgleichs-, Natur- und Landschaftspflegeflächen etwa 8'800 TJ, Mist und Gülle 400 TJ und RME 200 TJ an den Energiebedarf beitragen. Insgesamt liegt das energetisch nutzbare Biomassepotential bei 9'400 TJ oder bei 1 % des gesamtschweizerischen Energieverbrauches.

Der Stellenwert des Treibstoffeinsatzes zur Bewirtschaftung der Kulturen zum Energieoutput der Ernteprodukte wurde aufgezeigt.

Abstract

An average farm in Switzerland consumes 50 GJ electricity and 178 GJ fuel per year. Total energy consumption of the Swiss agriculture amounts to 9'980 TJ per year, of which 2'800 TJ are expended in the form of electricity, 6'300 TJ (178 million litres) in the form of diesel and 880 TJ (27 million litres) in the form of gasoline.

Total energy consumption in agriculture is calculated on the basis of a combined farm in the plain region which puts major focus on dairy production. The orientation of the farm management has to be taken into account in order to identify electricity consumption. Diesel consumption is measured in practice whereas gasoline consumption is calculated.

Based on realistic assumptions, the potential of reducing electricity amounts to 12 GJ (25 %) per year. According to optimistic assumptions, 18 GJ (35 %) of the electricity consumption could be saved.

Energy recovery in milk cooling and solar air collectors in hay drying are the major possibilities of energy reduction on the farm.

Under practicable conditions, fuel consumption could be reduced by 400 litres (7 %). Based on optimistic assumptions, a reduction of 16 % (approx. 800 litres) could be achieved.

Furthermore, non renewable energies can be substituted by wood, biogas, herbaceous crops, RME, and solids from slurry separation. In the medium term, energetic use of biomass could provide for approx. 9'400 TJ, which corresponds to 1 % of Swiss total energy consumption.

Résumé

L'exploitation agricole moyenne consomme 50 GJ (13 900 kWh) d'énergie électrique et 178 GJ (5000 l) de carburants par an. La consommation d'énergie totale de l'agriculture suisse s'élève à 9980 TJ, dont 2800 TJ (775 GWh) sont consommés sous forme d'énergie électrique, 6300 TJ (178 mio. l) sous forme de diesel et 880 TJ (27 mio. l) sous forme d'essence.

La consommation d'énergie dans l'agriculture a été calculée sur la base d'une exploitation agricole moyenne qui reflète une exploitation mixte située dans la région de plaine. Un calcul plus différencié a été fait pour la consommation d'énergie électrique par exploitation, compte tenu de l'orientation économique de l'exploitation. Pour les carburants, les relevés de la consommation de diesel dans la pratique ont permis de définir de façon relativement précise la quantité de carburant consommée par culture et opération. Il faut ajouter des valeurs de consommation pour l'épandage d'engrais de ferme, divers transports et l'élevage d'animaux. Pour l'essence, il faut tenir compte des valeurs de consommation pour la motofaucheuse et les transports avec l'automobile (livraison de lait, autres trajets et transports).

Selon des hypothèses réalistes, une exploitation moyenne peut économiser 3400 kWh (12 GJ) d'énergie électrique par an, soit 25% de la consommation, selon des hypothèses optimistes, les économies réalisables s'élèvent à 4900 kWh (presque 18 GJ), soit à 35 % de la consommation. Les économies d'énergie les plus importantes sont possibles sur le plan de la récupération de l'énergie consommée pour le refroidissement du lait et au niveau du séchage solaire du foin.

Pour le carburant, les économies réalisables s'élèvent à 400 l par an (7 %). Selon des hypothèses optimistes, la consommation de carburant par exploitation pourrait même être réduite à environ 4240 l par an ou de presque 16 %. La réduction de carburant la plus importante peut être atteinte par le mode de conduite ECO-DRIVE, l'utilisation d'outils tractés pour le travail du sol (au lieu d'outils entraînés par la prise de force) ainsi que de combinaisons d'outils permettant de réduire le nombre de passages.

La biomasse offre des possibilités de substitution, notamment en utilisant du bois, du biogaz (fermentation), des matières solides du lisier et du RME. A moyen terme, l'utilisation énergétique du bois, des surfaces de compensation, des surfaces naturelles et des surfaces d'aménagement du paysage pourrait couvrir environ 8800 TJ de l'énergie nécessaire, le fumier et le lisier 400 TJ et le RME 200 TJ. Dans l'ensemble, la biomasse énergiquement utilisable offre un potentiel d'énergie de 9400 TJ ce qui correspond à 1 % de la consommation d'énergie totale en Suisse.

1 Ausgangslage

Der Verbrauch an hochwertiger Energie in der Landwirtschaft, wie Strom und Treibstoffe, beträgt rund 6% des CH-Verbrauches [Gfeller]. Obwohl gerade die Landwirtschaft über ein grosses Biomassepotential verfügt, ist eine völlige Energieautarkie bezüglich Treibstoffen oder Strom aus marktwirtschaftlichen und agrarpolitischen Überlegungen kaum wahrscheinlich. Die Bereitstellung von Wärmeenergie kann jedoch noch ausgebaut werden, da hierbei Flächen genutzt werden können, die primär dem ökologischen Ausgleich oder als Wald dienen.

Um 'nicht erneuerbare' Energieträger zu schonen, bietet sich neben der Bereitstellung von Biomasse-Energie auch der vermehrte rationelle Einsatz der verwendeten Energieträger an. Während im Bereich Gebäudesanierung, Industrie und Fahrzeugbau der rationelle Einsatz von Energie mit grossen Anstrengungen vorangetrieben wird [BfK], sind die Bestrebungen in der Landwirtschaft noch wenig fortgeschritten.

2 Ziele der Arbeit

- Abklären des aktuellen landwirtschaftlichen Energieverbrauchs.
- Aufdecken und Schliessen von allfälligen Datenlücken.
- Ableiten von Einsparungsmöglichkeiten und
- Aufzeigen des Einsatzes von erneuerbaren Energien insbesondere von landwirtschaftlicher Biomasse.

3 Lösungsweg

In einem ersten Schritt wurden die vorhandenen Datengrundlagen evaluiert.

Die Daten zum landwirtschaftlichen Energieverbrauch stammen aus folgenden Quellen:

- FAT-Statistik über den landwirtschaftlichen Energieverbrauch von 1939-1985 bzw. 1990 von Studer bzw. Jolliet.
- FAT-Modellrechnungen zum aktuellen landwirtschaftlichen Energieverbrauch nach Fischer 1998.
- Ergebnisse der Zentralen Auswertung von Buchhaltungsdaten - Grundlagenbericht 1998, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik FAT.
- Schweizerische Gesamtenergiestatistik und Schweizerische Elektrizitätsstatistik des Bundesamtes für Energie BFE 1997 bis 1999.
- Strombedarf in der Landwirtschaft, J. Boxberger et al., 1997, Schriftenreihe der Energieforschungsgemeinschaft im Verband der E-Werke Österreichs.
- Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung, 1999, Schweizerischer Bauernverband.
- Diverse Erhebungen und Daten zum Treibstoffverbrauch bei Landwirtschaftstraktoren und Motormähern sowie zum Elektrizitätsverbrauch, FAT.
- Arbeitswirtschaftliche Daten der FAT betreffend Traktorstundenbedarf für die Kulturen und entsprechende Bearbeitungsschritte (Global-Arbeitsvoranschlag der FAT).

Die vorliegenden Quellen wurden untersucht bezüglich:

- Datenherkunft.
- Erhebungsmethodik.
- Datenqualität (Plausibilität zugrunde gelegter Annahmen, Detaildaten).

Im zweiten Schritt wurde der Verbrauch eines durchschnittlichen Landwirtschaftsbetriebes, auf der Basis des durchschnittlichen Talbetriebes aus den Buchhaltungsdaten der FAT [Grundlagenbericht 1998] formuliert und mittels Buchhaltungsergebnissen hochgerechnet. Dieser berechnete Betrieb stellt die Mehrheit typischer, schweizerischer Landwirtschaftsbetriebe dar. Es handelt sich dabei um einen Gemischtbetrieb mit Milchwirtschaft und Ackerbau als Produktionszweige. Die berechneten Energieverbrauchswerte wurden anhand der Elektrizitäts- und Energiestatistik des BFE verglichen. Mit diesem Betriebstyp können bezüglich Identifikation von Schwachstellen für die Mehrheit der Talbetriebe Lösungsvorschläge erarbeitet werden.

- ➔ Betriebe, welche ausschliesslich die Produktionszweige Ackerbau, intensive Tierhaltung oder Spezialkulturen betreiben, wurden in dieser Studie **nicht** detailliert untersucht, sondern nur bei der Hochrechnung auf den landwirtschaftlichen Stromverbrauch berücksichtigt.
- ➔ Die für die Produktion erforderliche graue Energie, sowie die Arbeitskraft von Mensch und Tier sind nicht einberechnet.

Aussagen zum Einzelbetrieb, aber auch zur gesamten Landwirtschaft werden daraus abgeleitet und entsprechende Lösungsvorschläge ausgearbeitet und präsentiert. Die Berechnung des Energieverbrauches erfolgte folgendermassen:

- ◆ **Stromverbrauch** = Leistungsaufnahme x Betriebsstunden
Einheit: [kWh] = [kW x h]

Der Verbrauch an Treibstoffen umfasst Diesel und Benzin. Die Berechnung erfolgt gemäss:

- ◆ **Dieserverbrauch** = Traktorstunden pro Fläche x Verbrauch pro Stunde x Fläche
Einheit: [l] = [h/ha x l/h x ha]
- ◆ **Benzinverbrauch** = Motormäherstunden pro Fläche x Verbrauch pro Stunde x Fläche
Einheit: [l] = [h/ha x l/h x ha]

Die Energieeinheiten sind bei der Elektrizität sowohl in kWh als auch auf GJ bzw. TJ umgerechnet. Bei Treibstoffen sind die Werte in GJ bzw. TJ angegeben.

Alle aufgelisteten Kulturen wurden bezüglich der einzelnen notwendigen Arbeitsschritte analysiert [FAT-Arbeitsvoranschlag] und die entsprechenden Verbrauchswerte zugeordnet. Die Treibstoffverbrauchsdaten stammen aus unterschiedlichen Literaturquellen sowie von Feldderhebungen der FAT [M. Rinaldi].

Im Verlaufe der eigenen Berechnungen zum betrieblichen Energieverbrauch wurde deutlich, dass im Bereich der elektrischen Energie Differenzen zwischen den statistischen Angaben und einer blossen Hochrechnung auf der Basis eines Einzelbetriebes bestehen (vgl. Kapitel 4.3.1.1). Die genauere Unterscheidung der 76'000 landwirtschaftlichen Betriebe zeigt, dass 13'000 Betriebe der Kategorie Pflanzenbau, 50'000 Betriebe der Kategorie Tierhaltung und 13'000 Betriebe der Kategorie Gemischte Betriebe zugeordnet werden können [Statistischen Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung, 1999]. Die Berechnungen der FAT [B. Meier, 1996] erlauben einerseits den Vergleich mit statistischen Daten der EU, andererseits sind darin die betriebswirtschaftlichen Daten genauer erfasst. Die beiden Datenquellen, statistische Erhebungen und FAT, sind im folgenden miteinander verbunden worden.

Tabelle 1: Einteilung der Betriebe nach dem Deckungsbeitrag

[vereinfacht, nach B. Meier, 1996]

Betriebswirtschaftliche Ausrichtung [Statistische Erhebungen u. Schätzungen, 1999]	Deckungsbeitrag stammt vorwiegend aus: [nach FAT, 1996]
<u>Pflanzenbau:</u> - Ackerbaubetriebe - Gartenbaubetriebe - Dauerkulturbetriebe	Acker- bzw. Getreidebau Gartenbau (Gemüse, Beeren, Blumen) Dauerkulturen (Reben, Hopfen, Obst, Baumschulen)
<u>Tierhaltung:</u> - Weideviehbetriebe - Veredlungsbetriebe	Milchwirtschaft oder Rinderaufzucht u. Mast oder kombiniert (Milch, Aufzucht, Mast) oder Weidevieh- wirtschaft mit Schafen, Ziegen usw. Veredlung (Schweine, Hühner)
<u>Gemischte Betriebe:</u> - Pflanzenbauverbundbetriebe - Tierhaltungsverbundbetriebe - Pflanzenbau-Tierhaltungsbetriebe	Hauptsächlich Acker- bzw. Gartenbau Hauptsächlich Grünland/Weidevieh bzw. Veredlung Vor allem Ackerbau oder Weidevieh

In Tabelle 1 sind die Betriebe nach der Einteilung gemäss statistischen Erhebungen und Schätzungen des schweizerischen Bauernverbandes (linke Spalte) und nach dem Deckungsbeitrag gemäss FAT (rechte Spalte) differenziert.

Tabelle 2: Einteilung der Betriebe nach Flächennutzung und Tierhaltung

[vereinfacht, nach B. Meier, 1996]

Betriebswirtschaftliche Ausrichtung	Kriterien nach		
	Flächennutzung		Tierhaltung
<u>Pflanzenbau:</u>			
Ackerbaubetriebe	~16 ha LN	~12 ha Acker	< 2 Milchkühe, < 6 Schweine
Gartenbaubetriebe	~9 ha LN	~5.5 ha Feldgemüse/Blumen	< 1 Milchkuh
Dauerkulturbetriebe	5 – 13 ha LN	3 – 5 ha Reben/Obst	0 Milchkühe
<u>Tierhaltung:</u>			
Weideviehbetriebe	17 19 ha LN	15 – 18 ha Futterflächen	~15 Milchkühe oder ~16 Rinder
Veredlungsbetriebe	~9 ha LN	~5.5 ha Futterflächen	< 3 Milchkühe, ~43 Schweine
<u>Gemischte Betriebe:</u>			
alle Betriebe	18 ha LN	~10 ha Futterflächen	~13 Milchkühe, ~9.5 Schweine

In Tabelle 2 ist eine weitere Unterteilung der Betriebe in Flächennutzung und Tierhaltung gemäss FAT ersichtlich. Mit Hilfe dieser Unterscheidung kann der Energiebedarf der einzelnen Betriebskategorien genauer abgeschätzt werden.

Aus diesen Annahmen lassen sich Hochrechnungen auf die gesamte Landwirtschaft vor allem im Bereich des elektrischen Energieverbrauches differenzierter machen.

Für die Hochrechnungen im Bereich des Treibstoffverbrauches reicht die Basis des Durchschnittbetriebes aus, weil die Treibstoffverbrauchsdaten hauptsächlich mit der bewirtschafteten Fläche zusammenhängen.

4 Ergebnisse

4.1 Vorhandene Datengrundlagen

Keine der Datenquellen des BfE als auch der FAT, basieren ausschliesslich auf exakten Datenerhebungen. Alle gehen von Hochrechnungen, Schätzungen und Modellberechnungen aus.

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Quellen werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

4.1.1 BfE Statistiken

Die Elektrizitätserhebungen stammen direkt aus der jährlichen Befragung des BfE bei den einzelnen, wichtigsten Elektrizitätswerken (rund 400-500 EW's). Die Zahlen für den Primären Sektor werden von den EW's selbst deklariert.

Die meisten Landwirtschaftsbetriebe haben nur einen ‚Stromzähler‘, so dass der Verbrauch des Haushalts nicht vom Betrieb getrennt aufgezeigt wird. Unklar ist, ob die EW's den Haushaltsanteil nach einem Verteilschlüssel der Rubrik Haushalte zurechnen oder ob der Stromverbrauch gesamthaft der Landwirtschaft zuordnet wird. Aufgrund der BfE-Umfrage wird nur nach dem Primären Sektor gefragt, innerhalb des Sektors aber nicht differenziert nach Fischerei, Land- oder Forstwirtschaft. Die BfE-Gesamtenergiestatistik basiert für den Bereich Landwirtschaft auf dem Ausschlussprinzip. Die nicht klar definierte Restmenge wird der Verbrauchergruppe Gewerbe, Landwirtschaft, Dienstleistungen mangels einzelner Erhebungen zugeordnet.

4.1.2 FAT [Studer, Jolliet, 1992]

Die Statistik beinhaltet den landwirtschaftlichen Energieverbrauch in Fünfjahresschritten bis 1985. Eine Hochrechnung der 1985-Daten durch Jolliet [1992] ergab die 1990er-Zahlen. Datengrundlage für die Treibstoffberechnungen bildet die Treibstoffrückerstattung durch die Oberzolldirektion. Die Landwirte geben beim Dieserverbrauch ihren tatsächlichen Verbrauch (mit Belegen) an. Dieser wird in der Statistik geführt. Der Benzinverbrauch muss nicht belegt werden, die Rückerstattung erfolgt nach einer Pauschalen, welche von der FAT, je nach Kultur berechnet wird. Dieser Wert wird als Datengrundlage für den betrieblichen Benzinverbrauch geführt, dürfte aber aufgrund der Schätzungen für alte Motormäher in der Zwischenzeit eher etwas zu hoch angesetzt sein.

Der Anteil Schmierstoff wurde mit 2.46% vom Treibstoffverbrauch angenommen. Dieser Wert beläuft sich nach neuesten Messungen der FAT nur noch auf rund 1%.

Da die Treibstoffdaten der Oberzolldirektion nicht den gesamten Verbrauch widerspiegeln, wählten Studer/Jolliet eine erweiterte Berechnung unter Zuhilfenahme der FAT-Buchhaltungsauswertungen. Die im Grundlagenbericht ausgewiesenen Produktionskosten werden demnach nach Anzahl Betrieben hochgerechnet (Schlüssel nicht mehr aktuell) und die Differenz zu den Zahlen der Oberzolldirektion als zusätzlich eingesetzter Treibstoff ausgewiesen. Bei diesem zusätzlich eingesetzten Treibstoff gehen Studer/Jolliet davon aus, dass diese Menge für Transporte mit Personenwagen eingesetzt wird und es sich somit nur um Benzin handelt. Nach heutigen Annahmen kann davon ausgegangen werden, dass diese Treibstoffmenge anteilmässig am aktuellen Verbrauch sowohl für Zugkraftsarbeiten (Diesel) als auch für PW-Transporte eingesetzt wird. Grund sind z.B. flächenlose Lohnunternehmer, die Maschinenarbeiten für Landwirte anbieten. Weiter werden durch Landwirte vermehrt Arbeiten durchgeführt, die ausserhalb der Landwirtschaft sind.

Die Elektrizitätsberechnungen basieren auf Buchhaltungsergebnissen, die fälschlicherweise als Durchschnittszahlen interpretiert wurden. Die Werte dürften daher rund 10-15 % höher sein als angegeben. Da diese Studie auch die graue oder indirekte Energie berücksichtigt, sind auch Berechnungen zu Maschinen, Gebäuden, Düngerherstellung, Pflanzenschutzmittel und Futtermittelbereitung vorhanden. Die Herstellungsmethoden haben sich bezüglich Energieeffizienz jedoch verbessert und müssen durch aktuellere Berechnungsgrundlagen ersetzt werden.

Generell widerspiegelt die Studie Studer/Jolliet für 1985 recht genau die damalige Situation in der Landwirtschaft – eine Weiterführung der vorhandenen Methodik ist aber aufgrund neuer Erkenntnisse nicht sinnvoll. Dies bedeutet aber auch, dass die Vergleichbarkeit bei einer Anwendung angepasster Datenquellen nicht mehr gewährleistet ist. Eine Berechnung auf den nächsten Fünfjahresschritt von 1995 lässt sich aufgrund der fehlenden Daten für 1995 ohnehin nicht machen (keine landwirtschaftlichen Betriebserhebungen des Bundes aufgrund von Kosteneinsparungen für das Jahr 1995).

4.1.3 FAT-Fischer Modellberechnungen

Fischer [1998] basiert auf einem sektoriellen Berechnungsmodell, welches es erlaubt, ausgehend von landwirtschaftlichen Kulturen und Bewirtschaftungsweise, hochzurechnen, wieviel Energie theoretisch dafür eingesetzt werden müsste. Kalibriert wird das Modell durch mehr oder weniger bekannte Grössen wie Treibstoffrückerstattung, Düngerverbrauch, Elektrizitätsstatistik, Annahmen über das Bauwesen jedoch ausgehend von Datengrundlagen für Industrie (nicht immer vergleichbar mit der Landwirtschaft).

Die Datenqualität beim Modell Fischer hängt somit stark von den einzelnen Grunddaten ab, welche für die Hochrechnung benötigt werden.

Folgende Klassen lassen sich daraus ableiten:

Gute Datenqualität: Maschinen, Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel (Menge und Produktionsaufwand sind erhoben worden).

Mittlere Datenqualität: Treibstoffe, Schmierstoffe, Gebäude, Brennstoffe, Futtermittelverarbeitung, Futterimport.

Geringe Datenqualität: Gasverbrauch, Gewächshäuser.

Tabelle 3: Gegenüberstellung unterschiedlicher Datenquellen

(nicht vergleichbar, aufgrund unterschiedlicher Jahreszahlen, Daten und Methoden)

Datenquelle	Fischer	Fischer	Studer/Jolliet	Statistik BfE
Stand	1996	1996	1990	1996
Verbrauch	Totalenergie	Endenergie	Endenergie	Endenergie
Einheit	TJ	TJ	TJ	TJ
Diesel	6763	5731	4220	
Schmierstoffe	225	190	159	
Benzin	188	160	2104	
Pflanzenbehandlungsmittel	299	299	214	
Energie Maschinen, Gewicht	7371	7371	3046	
Energie Gebäude Maschinen	2912	2912	1431	
Energie Gebäude Tiere	6453	6453	-	
Elektrizität	11392	2589	2498	3391
Heizung Tiere	610	517	857	
Heizung Pflanzen (Treibhäuser)	27	23	638	
Dünger Stickstoff SBV	3414	3414	5592	
Dünger Phosphor SBV	920	920	470	
Dünger Kali SBV	484	484	536	
Futterbereitstellung	409	409	2018	
Summe	41467	31473	23783	

4.2 Datenauswertung, weiterführende Berechnungen

Die vorhandenen Datenquellen (Tabelle 3) basieren auf unterschiedlichen Zeiträumen, Grundlagen und Methoden, was keinen direkten Vergleich zulässt.

4.2.1 Definition des Durchschnittsbetriebes

Die Kenndaten des berechneten Durchschnittsbetriebes sind in Tabelle 4 erwähnt.

Tabelle 4: Kenndaten des definierten Durchschnittsbetriebes

Tierhaltung			Pflanzenbau		
Kühe	[GVE]	16.3	Weizen	[ha]	4.27
Aufzuchtvieh und Stiere	[GVE]	5.9	Körnermais	[ha]	3.7
Grosses Mastvieh	[GVE]	1.3	Kartoffeln	[ha]	0.63
Mastkälber	[Stück]	0.7	Zuckerrüben	[ha]	0.6
Total	[GVE]	23.5	Raps	[ha]	0.38
Eber und Mutterschweine	[Stück]	5.3	Futterrüben	[ha]	0.12
Mastschweine	[Stück]	17	Silomais	[ha]	1.27
Legehennen	[Stück]	44.7	Kunstwiesen	[ha]	3.52
			Naturwiesen, Dauerweiden	[ha]	7.79
			Landwirt. Nutzfläche (LN)	[ha]	22.28
			Wald	[ha]	1.85

Dieser Durchschnittsbetrieb stellt einen berechneten Betrieb dar. Er stellt die Mehrheit typischer, schweizerischer Landwirtschaftsbetriebe dar. Es handelt sich dabei um einen Gemischtbetrieb mit Milchwirtschaft und Ackerbau als Produktionszweige.

4.3 Energieverbrauch auf Stufe durchschnittlicher Landwirtschaftsbetrieb

4.3.1 Stromverbrauch

4.3.1.1 Stromverbrauch auf Stufe Betrieb

In Tabelle 5 sind die Berechnungsgrundlagen für den betrieblichen Stromverbrauch aufgelistet. Der Stromverbrauch des berechneten Landwirtschaftsbetriebes beträgt knapp 14 MWh oder 50 GJ im Jahr. Im Produktionszweig Milchwirtschaft ist Elektrizität der vorherrschende Energieträger.

Tabelle 5: Grunddaten für die Berechnung des betrieblichen Stromverbrauches

Innenwirtschaft Arbeit/Gerät	Typ/Verfahren	Leistung kW	Verbrauch kWh	Verbrauch GJ
Melkanlage	Eimermelkanlage	1.5	1314.0	4.7
Reinigung & Heisswasserbereitung	Warmwasserspeicher	4	2970.5	10.7
Milchkühlung	Tauchkühler für direkte Kühlung in Kannen	1.5	1525.7	5.5
Heizstrahler Melkkammer	Wärmestrahler	1.5	180.0	0.6
Futterbeschickung Heu	Gebälsehäcksler	11	66.8	0.2
Futterbeschickung Grassilage	Gebälsehäcksler	11	130.0	0.5
Futterbeschickung Maissilage	Gebälsehäcksler	11	13.8	0.0
Heutrocknung	Gebälse	5	3392.1	12.2
Entnahme Heu & Stroh	Brückenkran	6.5	5.7	0.0
Entnahme Grassilage	Obenentnahmefräse mit Wurfgebälse	11	141.3	0.5
Entnahme Maissilage	Obenentnahmefräse mit Wurfgebälse	11	37.5	0.1
Aussenbeleuchtung	2 Halogenstrahler	0.5	365.0	1.3
Beleuchtung Melkkammer	2 Leuchtstoffröhren	0.08	116.8	0.4
Beleuchtung Mast- & Mutterschweine	4 Leuchtstoffröhren	0.16	233.6	0.8
Beleuchtung Legehennen	regelbare Glühlampen	0.025	132.3	0.5
Beleuchtung Milchviehstall	Leuchtstofflampen	0.26	234.0	0.8
Beleuchtung Mastrinder	Leuchtstofflampen	0.1	90.0	0.3
Gebäudeklimatisierung Kühe	Ventilator	0	0.0	0.0
Gebäudeklimatisierung Mastschweine	Ventilator	0.05	438.0	1.6
Gebäudeklimatisierung Mutterschweine	Ventilator	0.05	438.0	1.6
Gebäudeklimat. Legehennen	Ventilator	0.05	437.5	1.6
Wärmelampen Küken	Wärmelampe	1.5	720.0	2.6
Wärmelampen Ferkel	Wärmelampe/Mutterschwein (3)	0.15	648.0	2.3
Hofdüngerlagerung	Rührwerk	7.5	90.0	0.3
Weidezaun	Weidezaun	0.005	43.8	0.2
Hammermühlen	Hammermühle	5	88.0	0.3
Entmistung Rinderhaltung	Schubstangenförderer mit Höhenförderer	1.1	60.3	0.2
Gesamt			13912.8	50.1

Die wichtigsten Stromverbraucher sind:

Stromverbraucher	MWh/Jahr	GJ/Jahr
Melkanlage	1 – 2	4 - 7
Heisswasseraufbereitung, Reinigung der Melkanlage	3 – 4	10 - 14
Milchkühlung	1 – 2	4 – 7
Heubelüftung	3 – 4	10 – 14
Beleuchtung, Heizstrahler Melkkammer, Güllenmixer, Futterbeschickung und -entnahme, Entmistung, Mühlen, Weidezaun	1	4

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse für den definierten Durchschnittsbetrieb in grafischer Form.

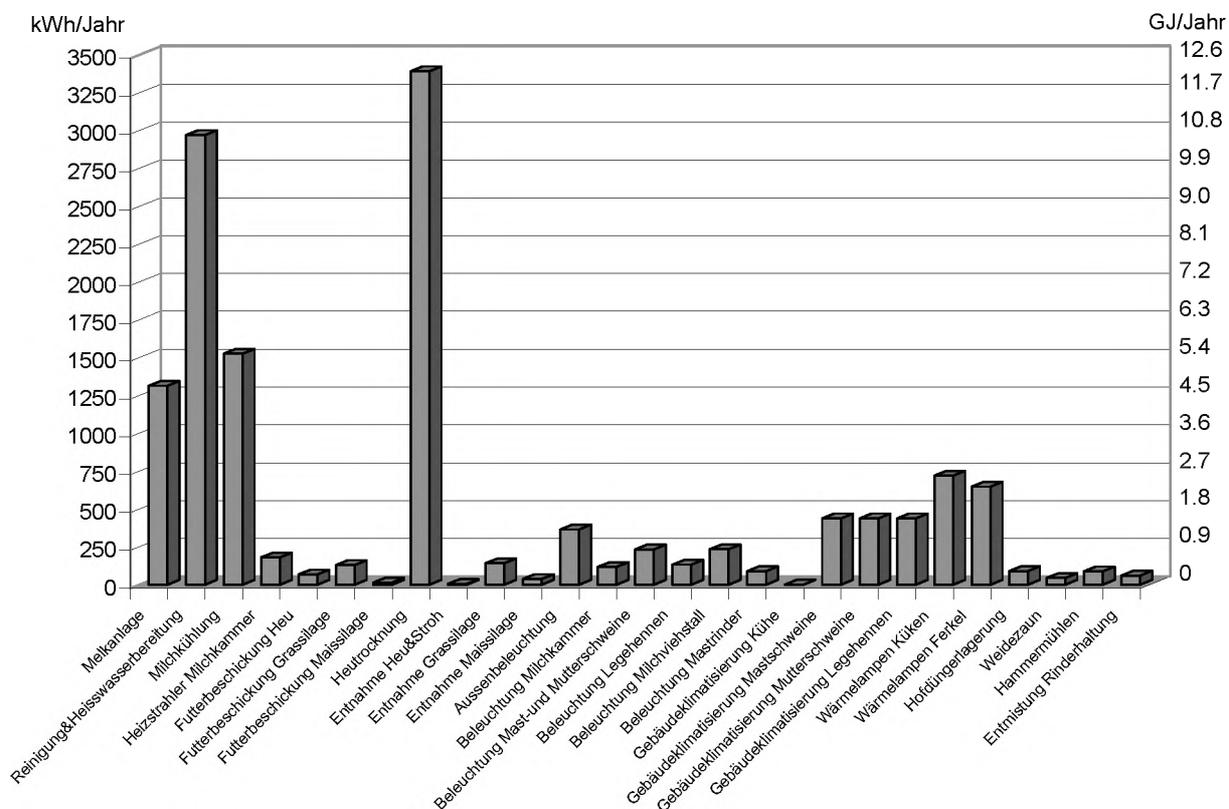


Abbildung 1: Jährlicher Elektrizitätsverbrauch des gewählten Landwirtschaftsbetriebes [kWh]

Bei der Analyse dieser Zahlen fällt auf, dass die Heisswasseraufbereitung sowie die Heubereitung, je nach Annahmen und Betriebseinrichtung bis 25% des Stromverbrauchs verursachen kann. Der jährliche Stromverbrauch für die Milchproduktion liegt somit bei rund 9 – 13 MWh oder 32 - 46 GJ. Werden Rinder, Mastschweine, Hühner gehalten, sind zusätzlich Stallventilatoren notwendig, die jährlich pro Ventilator rund 0.5 MWh oder 2 GJ Mehrverbrauch verursachen.

In der Energiestatistik des BFE liegt der Verbrauch an elektrischer Energie bei rund 950 GWh oder 3'420 TJ. Ausgehend von insgesamt rund 76'000 Landwirtschaftsbetrieben ergibt sich ein Durchschnittsverbrauch von 12.5 MWh oder 45 GJ pro Betrieb.

Die Differenz von 1 MWh bzw. 5 GJ im Vergleich zu den berechneten Ergebnissen zwingt zu einer Überprüfung der Datenquelle.

4.3.1.2 Stromverbrauch pro Betrieb nach betriebswirtschaftlicher Ausrichtung

Aus der Tabelle 6, in der die Betriebe nach ihrer betriebswirtschaftlichen Ausrichtung unterschieden sind, folgt, dass der Stromverbrauch der schweizerischen Landwirtschaftsbetriebe 775 GWh oder 2'791 TJ beträgt. Mit beinahe 2'000 TJ oder etwa 70 % tragen Betriebe mit Weidevieh am Stromverbrauch weitaus am meisten bei. Kombinierte Betriebe mit Pflanzenbau und Tierhaltung sowie Betriebe mit ausschliesslich Tierhaltung weisen einen Bedarf von 360 TJ respektive 200 TJ auf. Alle übrigen Betriebskategorien benötigen jeweils weniger als 100 TJ an Strom. Der durchschnittliche Stromverbrauch aller Betriebe liegt bei 10 MWh oder 36.5 GJ pro Jahr, bzw. auf die Haupterwerbsbetriebe umgerechnet bei 13.8 GWh oder 49.9 GJ pro Betrieb.

Der gesamte Stromverbrauch in Tabelle 6 liegt um 178 GWh oder 640 TJ tiefer als in der Elektrizitätsstatistik mit 953 GWh bzw. 3'431 TJ aufgeführt wird. Die Differenz kann darauf zurückgeführt werden, dass in vielen Fällen der Haushaltsverbrauch in der Energiestatistik mitgerechnet wird, da nur ein einziger Zähler auf dem Hof installiert ist. Dies konnte mit einer Umfrage bei verschiedenen Elektrizitätswerken bestätigt werden.

Tabelle 6: Geschätzter Stromverbrauch pro Betrieb nach deren betriebswirtschaftlicher Ausrichtung

Betriebswirtschaftliche Ausrichtung	Anzahl Betriebe	Stromverbrauch			
		MWh/Betrieb	GWh gesamt	GJ/Betrieb	TJ gesamt
Ackerbau	5353	1.9	10	6.9	37
Gartenbau	1158	2.0	2	7.2	8
Dauerkulturen	6524	1.6	10	5.7	37
Weidevieh	48927	11.3	551	40.5	1983
Veredlung	1523	13.9	21	50.2	76
Pflanzenbau	1727	13.9	24	50.2	87
Tierhaltung	4112	13.9	57	50.2	206
Pflanzenbau+Tierhaltung	7088	13.9	99	50.2	356
Total	76412		774.8		2790.8
Verbrauch pro Betrieb			10.14		36.52
Verbrauch pro Haupterwerbsbetrieb			13.85		49.88

Der durchschnittliche Haushaltsverbrauch mit 2.5 Personen pro Haushalt liegt gemäss Elektrizitätsstatistik bei 5 MWh bzw. 18 GJ. Der berechnete landwirtschaftliche Durchschnittsbetrieb hat 3.5 Personen, was rund 7 MWh oder rund 25 GJ pro Haushalt und Jahr entspricht.

Der gesamte Verbrauch an elektrischer Energie des durchschnittlichen Landwirtschaftsbetriebes, d.h. des Betriebes und des Haushaltes, beläuft sich somit auf 17.1 MWh oder 61.7 GJ pro Jahr bzw. für die Haupterwerbsbetriebe auf 20.9 MWh bzw. 75.1 GJ.

4.3.2 Treibstoffverbrauch

4.3.2.1 Dieserverbrauch

Die Kulturen Getreide (Weizen, Gerste, Roggen), Raps, Mais (Silo- und Grünmais), Rüben (Zucker-/Futtermüben), Kartoffeln sowie Kunst- und Naturwiesen stellen die Hauptkulturen auf dem Landwirtschaftsbetrieb dar.

Die Ergebnisse über den Treibstoffverbrauch für die einzelnen Kulturen und die entsprechenden Arbeitsschritte sind im Anhang zu finden.

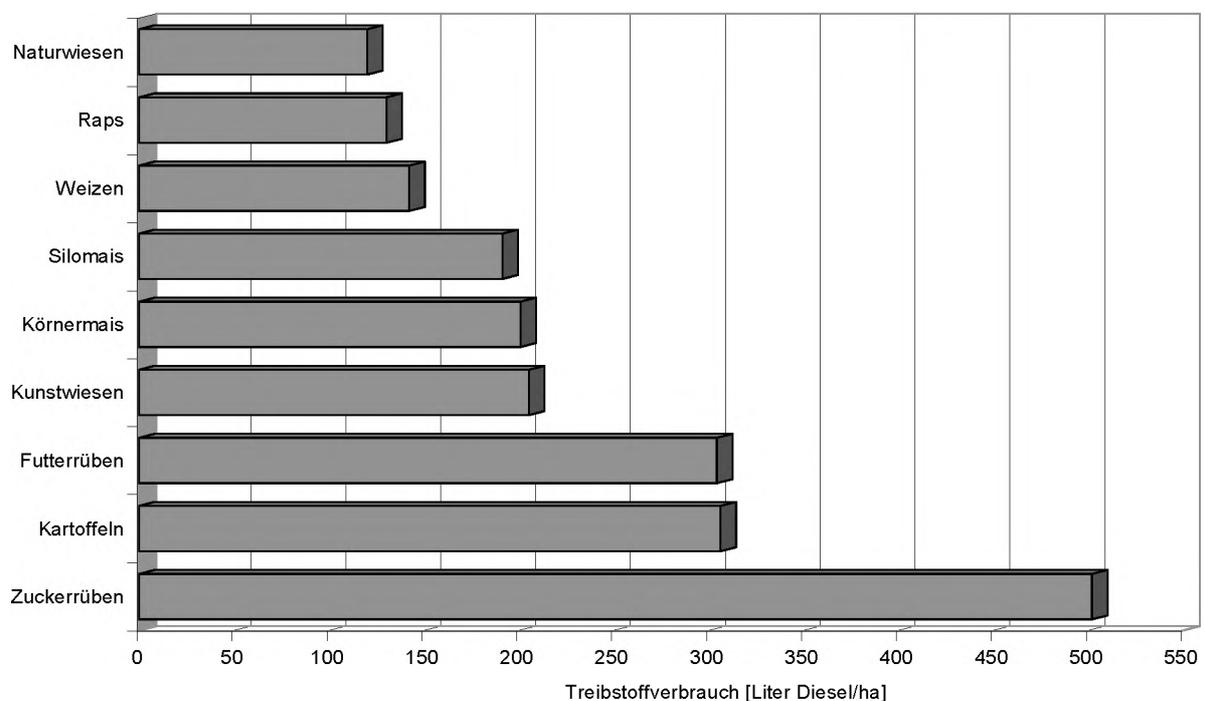


Abbildung 2: Treibstoffverbrauch pro Hektar nach Kulturen

Abbildung 2 stellt den Treibstoffverbrauch pro ha der auf dem Durchschnittsbetrieb vorhandenen Kulturen zusammengefasst dar.

Die Bearbeitung von Zuckermüben verbraucht mit 500 l/ha weitaus am meisten Diesel . Kartoffeln und Futtermüben liegen bei 300 l/ha, Kunstwiesen und Mais benötigen um 200 l/ha: Weizen, Raps und Naturwiesen weisen einen Verbrauch zwischen 110 und 140 l/ha auf.

Zur Bearbeitung der Kulturen auf dem berechneten Durchschnittsbetrieb werden gesamthaft 3'825 l pro Jahr bzw. rund 172 l/ha LN verbraucht (vgl. Abbildung 3).

An der Spitze liegen aufgrund der Flächennutzung des Durchschnittsbetriebs die Naturwiesen und die Dauerweiden mit etwas mehr als 920 l im Jahr. 740 l benötigt der Körnermais und die Kunstwiesen 720 l pro Jahr. Am wenigsten verbrauchen Raps und Futterrüben mit jeweils weniger als 100 l pro Jahr.

Der Durchschnittsverbrauch pro ha Ackerland liegt bei 200 l und pro ha LN bei 172 l.

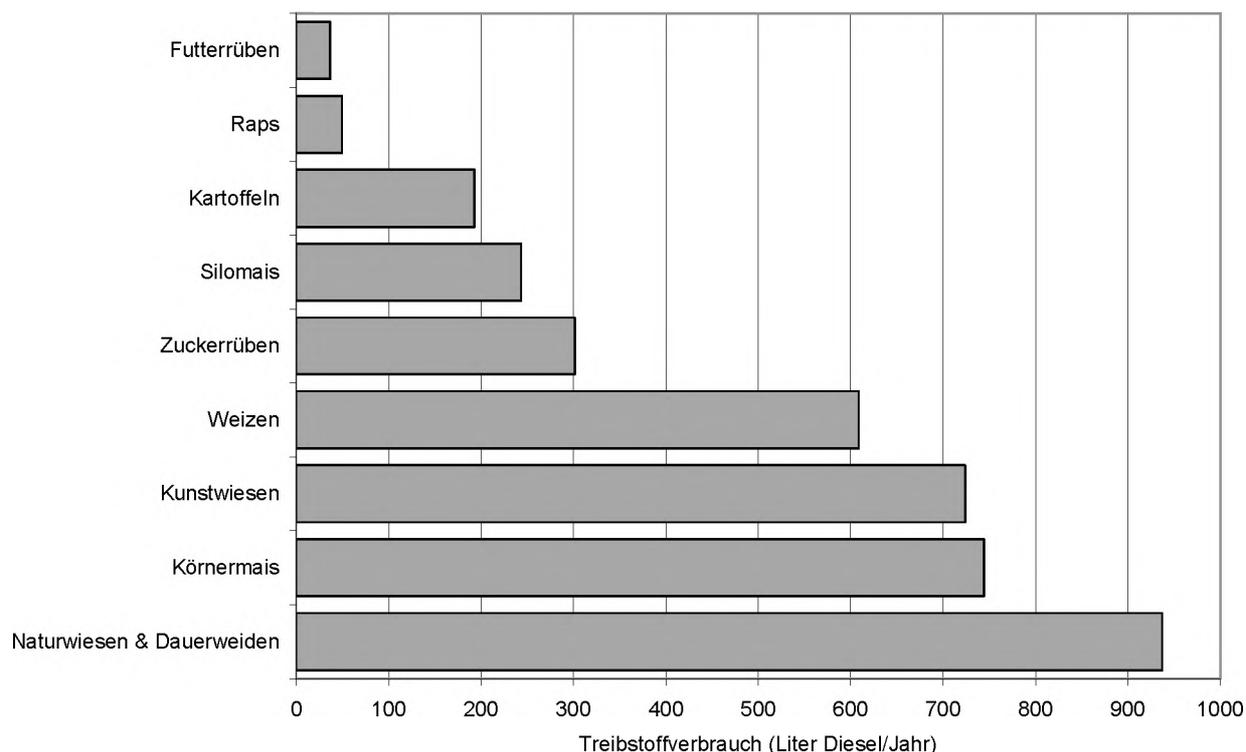


Abbildung 3: Jährlicher Treibstoffverbrauch auf dem Durchschnittsbetrieb nach Kulturen

Die Aufteilung des Treibstoffverbrauches auf die einzelnen Kulturen erfolgte ohne der Ausbringung von Gülle und Mist sowie zusätzliche Arbeiten und Transporte. Die Berechnung dieser Arbeitsschritte ist separat erfasst und dargestellt (vgl. Abbildung 4).

Zum überwiegenden Teil wird Dieselkraftstoff bei Erntearbeiten (30%), für Transporte (17 %) sowie zur Ausbringung der Hofdünger (12 %) benötigt. Unter der Rubrik „Diverses“ sind beispielsweise das Stroh pressen, Kraut schlagen, Rübenlaub ernten, sowie Pflegearbeiten und zusätzliche Arbeiten bei denen der Traktor eingesetzt wird zu verstehen. Diese Arbeiten tragen anteilmässig rund 12 % zum gesamten Dieserverbrauch des Betriebes bei.

Die Düngung mit mineralischen Düngern (Grund- und Kopfdüngung), das Säen und Pflegen der Kulturen benötigen jeweils weniger als 100 l/ha.

Die Milchablieferung mit knapp 100 l Diesel pro Jahr ist hinzuzurechnen, wenn dafür der Traktor Verwendung findet (vgl. Kapitel 4.3.2.2).

Gesamthoft werden auf dem Betrieb pro Jahr 5'026 Liter Diesel verbraucht bzw. im Durchschnitt 225.6 l/ha LN.

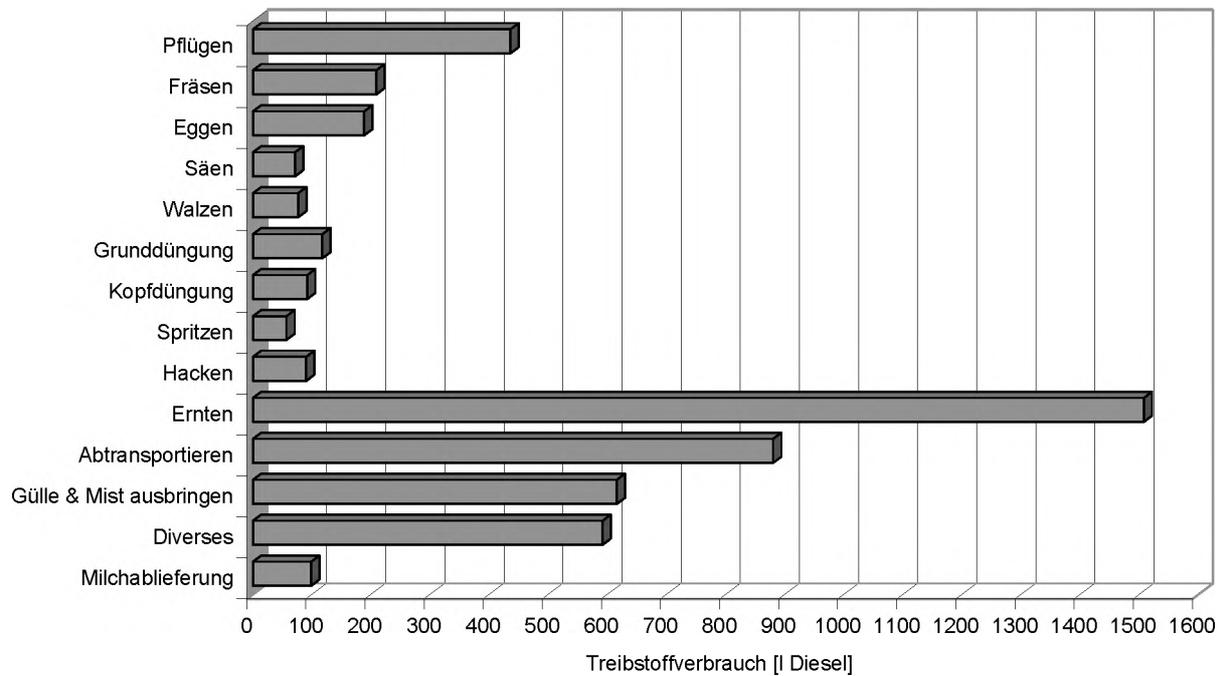


Abbildung 4: Treibstoffverbrauch pro Arbeitsschritt und Jahr auf dem Landwirtschaftsbetrieb

4.3.2.2 Benzinverbrauch

Neben Dieselkraftstoff wird auf dem Betrieb auch Benzin verbraucht. Der wichtigsten Verbraucher stellen der Motormäher und der Personenwagen (PW) dar.

Gemäss Daten der Eidgenössischen Zollverwaltung liegt der Benzinverbrauch für die Landwirtschaft bei rund 28 Mio. l, die hingegen nicht weiter unterteilt werden.

Die FAT schätzt den Verbrauch aller Motormäher mit etwa 12.3 Mio. l [Stadler, Schiess]. Dies entspricht einem Betriebsverbrauch von 220 l (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Benzinverbrauch in der Landwirtschaft

Benzinverbrauch	l/Betrieb	l gesamt
Motormäher	220	12'300'000
PW:		
◆ Milchablieferung	20	1'000'000
◆ Diverse Transporte/Fahrten	240	13'600'000
Benzinverbrauch gesamt	480	26'900'000

Für diverse Transporte und sonstige dem Betrieb zuteilbare Fahrten wird ebenfalls Benzin verbraucht. Schätzungsweise etwa ein Drittel der milchabliefernden Betriebe transportiert die Milch mit dem PW zur Sammelstelle. Bei einer durchschnittlichen Entfernung zwischen Betrieb und Sammelstelle von 1 km und einem Durchschnittsverbrauch des PW's von 8 l/100 km, errechnet sich eine Benzinmenge von rund 1 Mio. l, entsprechend etwa 20 l pro Betrieb (alle Haupterwerbsbetriebe).

Für diverse Transporte und Fahrten wurde eine durchschnittliche Fahrstrecke pro Betrieb von 3'000 km im Jahr angenommen. Bei einem durchschnittlichen Benzinverbrauch von 8 l/100 km errechnet sich eine Menge von 13 Mio. l pro Jahr oder 240 l/Betrieb.

Hochgerechnet benötigt die schweizerische Landwirtschaft damit etwa 27 Mio. l Benzin im Jahr. Pro Betrieb liegt der Benzinverbrauch bei etwa 480 l.

4.4 Gesamter betrieblicher Energieverbrauch

Der landwirtschaftliche Durchschnittsbetrieb verbraucht jährlich 245 GJ an Energie (Abbildung 5). Davon entfallen 50 GJ oder 20 % auf die elektrische Energie und 195 GJ oder 80 % auf die Treibstoffe (Diesel und Benzin).

Der Elektrizitätsverbrauch beschränkt sich praktisch ausschliesslich auf die tierische Produktion und derjenige der Treibstoffe auf das Acker- und Wiesland.

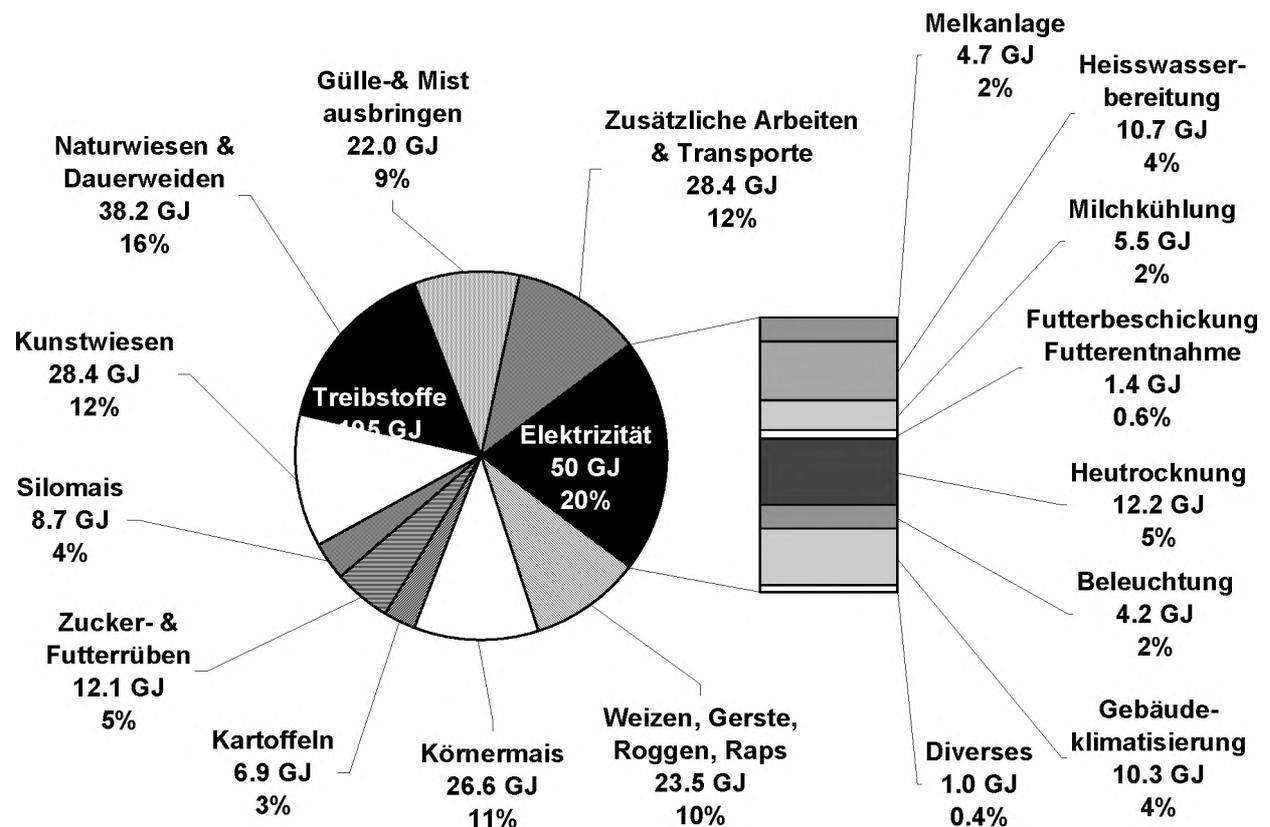


Abbildung 5: Energieverbrauch aufgeteilt nach Treibstoff und Elektrizität auf dem gewählten Landwirtschaftsbetrieb

76 % der Energie werden im Pflanzenbau und 24 % in der Tierhaltung benötigt.

Etwa 33 % der gesamten Energie verbrauchen die Ackerkulturen (ohne Kunstwiesen).

Der Treibstoffverbrauch teilt sich auf in Diesel mit 180 GJ und Benzin mit 15 GJ bzw. 5'026 Liter Diesel und 460 Liter Benzin.

4.5 Energieverbrauch der schweizerischen Landwirtschaft

Die schweizerische Landwirtschaft verbraucht pro Jahr 9'967 TJ an Energie (vgl. Abbildung 6). Rund 7'200 TJ oder 72 % des Gesamtverbrauches sind Treibstoffe und etwa 2'800 TJ oder 28 % Strom. Die Bewirtschaftung der Acker- und der Futterflächen benötigen mit 4'500 TJ am meisten Energie, gefolgt von diversen Transporten mit knapp 2'000 TJ. Weitere wichtige Verbraucher sind die Milchgewinnung sowie die Futterbewirtschaftung mit 1'200 TJ bzw. 1'100 TJ. Die Tierhaltung verbraucht insgesamt rund 2'550 TJ, was einem Anteil am gesamten Stromverbrauch der Landwirtschaft von 91 % entspricht.

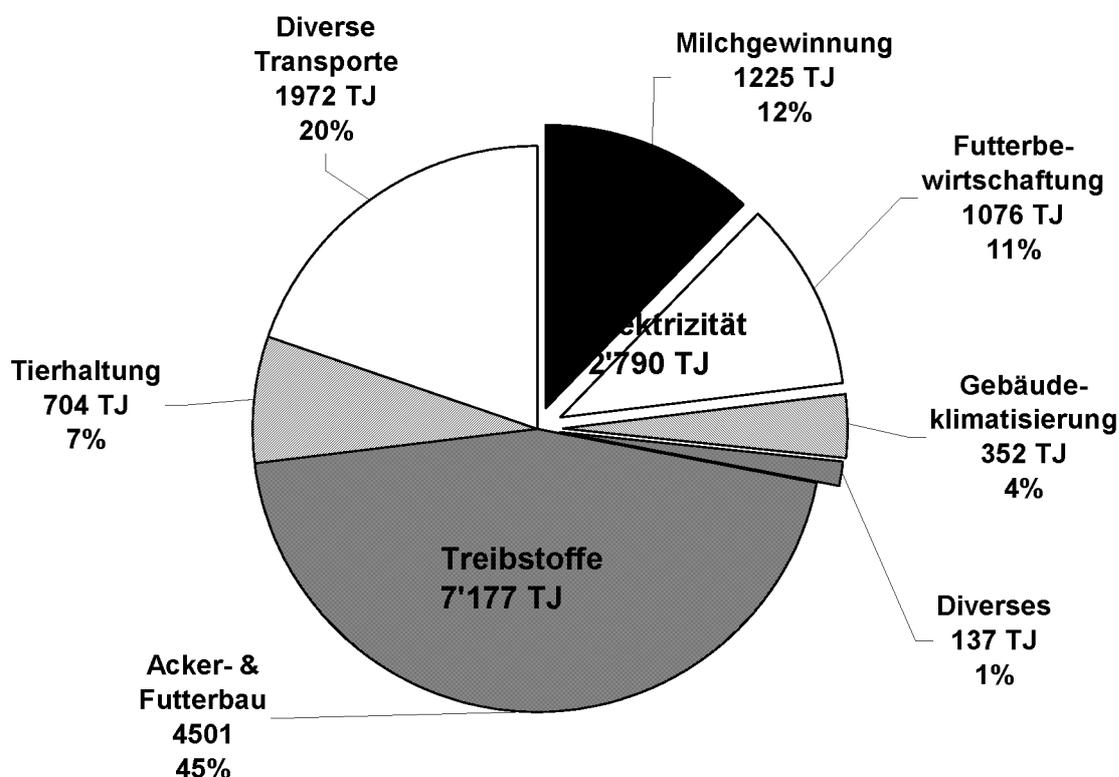


Abbildung 6: Gesamter Energieverbrauch der Landwirtschaft

Auf Diesel entfallen 6'300 TJ oder 178 Mio. l und auf Benzin 880 TJ oder 27 Mio. l. Dem Pflanzenbau können knapp 165 Mio. l Diesel und der Tierhaltung etwa 21 Mio. l zugeteilt werden. Der Rest entfällt auf Transporte und weitere Fahrten, die dem Betrieb zugerechnet werden können. Von der Benzinmenge werden 46 % für Arbeiten mit dem Motormäher und die restlichen 54 % für Transporte und Fahrten mit dem PW aufgewendet. Mit 1'900 TJ benötigen die Ackerkulturen am meisten Energie in Form von Diesel. Anteilsmässig liegen die Aufwendungen für Kunst- und Naturwiesen, zusätzliche Arbeiten sowie Gülle und Mist ausbringen bei je etwa 1'300 TJ oder insgesamt 3'900 TJ.

5 Einsparungsmöglichkeiten

5.1 Einsparung an elektrischer Energie

Im Bereich Elektrizität sind folgende Einsparmöglichkeiten zu überprüfen:

- Milchkühlung mit Wärmerückgewinnung.
- Einsatz von Sonnenkollektoren, Wärmepumpen für die Heutrocknung.
- Silageanteil zu Lasten von Heuproduktion erhöhen
- Tierhaltung in Offenfront-Ställen (beispielsweise Schweinemast).
- Energieoptimierte Steuerung der Stallklimatisierung.

5.1.1 Milchkühlung mit Wärmerückgewinnung

Die Wärme, die bei der Milchkühlung abgegeben wird, kann wieder zurückgewonnen und zur Bereitstellung von Warmwasser genutzt werden. Dazu wird eine Wärmepumpe eingesetzt. Aus einem Liter Milch, der von 32°C auf 4°C abgekühlt wird, werden 117.4 MJ Wärme freigesetzt [Ryter, 2000; Nosal, 1989].

5.1.2 Einsatz von Sonnenkollektoren, Wärmepumpen für die Heutrocknung

1996 standen auf landwirtschaftlichen Betrieben 2'140 Sonnenkollektoranlagen in der Schweiz in Betrieb. Im Vergleich zu einer Heubelüftung ohne Sonnenkollektoren mit einem Energieaufwand von durchschnittlich 43 MJ pro dt Heu, benötigt die Kombination mit Sonnenkollektor nur 25 kWh pro dt Heu. Der Sonnenkollektor verbessert die Trocknungskapazität der Belüftung. Die Wirkung der Belüftung verdoppelt sich während einem Schönwettertag [Nydegger, 1991; Baumgartner, 1993].

Der Einsatz einer Luft-Luft-Wärmepumpe oder eine Luftentfeuchter-Wärmepumpe zur Heutrocknung erhöhen den Energiebedarf von durchschnittlich 43 MJ/dt Heu bei der Kaltbelüftung auf 54 bzw. 97 MJ/dt [Baumgartner, 1989; Baumgartner, 1994].

5.1.3 Silageanteil erhöhen zu Lasten von Heuproduktion

Tendenziell hat das Silieren des Futters auch in der Schweiz in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Aus energetischer Sicht kann eine Reduktion des Energieaufwandes durch den Verzicht auf die Heubelüftung realisiert werden. Der berechnete Durchschnittsbetrieb produziert sowohl Heu als auch Silage, was der Mehrzahl der Landwirtschaftsbetriebe

entspricht. Falls der Betrieb eine relativ alte Heubelüftung betreibt und die Milchverarbeitung eine 100 %-ige Aufbereitung des Futters zu Silage zulässt, können pro Betrieb etwa 3'000 kWh oder 10.8 GJ an Strom pro Jahr eingespart werden.

In der Schweiz stehen knapp 45'000 Heubelüftungsanlagen in Betrieb. Angenommen 10 % der Anlagen müssten revidiert werden und die Hälfte der Betriebe würde sich für eine Umstellung von Heu auf Silage entschliessen, könnten dadurch etwa 6'500 MWh entsprechend 23.4 TJ pro Jahr an Strom eingespart werden. Dies würde einem Anteil von 1 % des gesamten Stromverbrauchs der Landwirtschaft entsprechen.

5.1.4 Tierhaltung in Offenfront-Ställen

Die Haltung von Mastschweinen in nicht wärmegeämmten Offenfrontställen ist unter anderem auch aus energetischer Sicht von Vorteil. Da die Klimatisierung mit natürlicher Lüftung erfolgt, benötigt dieses Stallsystem keine Energie. Für den berechneten Durchschnittsbetrieb liegt die Einsparung an Strom bei knapp 440 kWh oder 1'600 MJ pro Jahr.

Grosse Schweinemastbetriebe werden kaum ihr Haltungssystem auf Offenfront-Ställe umstellen. Rund 10'000 Betriebe in der Schweiz halten weniger als 50 Schweine auf dem Betrieb, was anzahlmässig etwas mehr als 160'000 Schweinen entspricht. Insgesamt etwa 4'400 MWh bzw. 15.8 TJ Strom pro Jahr könnten eingespart werden, was den Strombedarf der Landwirtschaft um 0.6 % vermindern würde.

5.1.5 Energieoptimierte Steuerung

Mit einem sogenannten Lastmanagement könnte insbesondere die Leistungsspitze reduziert werden. Ein Lastmanagement schaltet Verbraucher, die zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht unbedingt laufen müssen, ab und gibt sie zu einem unkritischeren Zeitpunkt, d.h. wenn das Stromnetz weniger belastet ist, wieder frei. Das System kann vollautomatisch in das Stromnetz integriert werden. Da die meisten Landwirte aus Kostengründen bestrebt sein dürften, Leistungsspitzen zu vermeiden, dürfte der Einsparnutzen eines Lastmanagement, der üblicherweise bei 10 % liegt, von Interesse sein. Auf die gesamte Landwirtschaft hochgerechnet, würde die Einsparung im Bereich der Stallklimatisierung etwa 6'800 MWh bzw. 24.5 TJ Strom erzielen (0.9 %).

Ein weiteres Energieeinsparpotential bieten Steuergeräte für die Heubelüftung [Baumgartner, 1996]. Ein Ventilator für eine Stockfläche von 100 m² beispielsweise erforderte früher einen 7.4 kW Elektromotor mit einem Stromverbrauch von 6'400 bis 8'000 kWh (23 – 29 GJ). Heute steht für die gleiche Stockfläche ein Ventilator von 5.5 kW im Einsatz. Dadurch, dass Steuergeräte die Laufzeit des Ventilators nach der relativen Feuchtigkeit und/oder Tempera-

tur der angesaugten Luft regeln, lässt sich die Laufzeit auf etwa 600 bis 700 h reduzieren, was zu einer Verminderung des Stromverbrauches auf 3'700 bis 4'300 kWh führt (13.3 – 15.5 GJ). Die Einsparung beträgt durchschnittlich etwa 2'200 kWh oder 7.9 GJ. Unter der Annahme, dass in Zukunft 10 % der Landwirte Steuergeräte für die Heubelüftung einsetzen würden, ergibt sich ein Einsparpotential von 9'900 MWh (35.6 TJ) oder 1.3 % des gesamten Stromverbrauches der Landwirtschaft.

5.2 Einsparungspotential an elektrischer Energie

In Abbildung 7 sind die Einsparmöglichkeiten nach Verbrauchern gruppiert. Der aktuelle Stand ist mit einer realistischen sowie einer optimistischen Variante verglichen. Die realistische Variante beinhaltet eine Wärmerückgewinnung aus der Milchkühlung, Sonnenkollektoren für die Heubelüftung sowie sparsamer Einsatz von Strom bei der Beleuchtung und Stallklimatisierung. Die optimistische Variante basiert auf umfassenden Einsparungen und schliesst zusätzlich eine Umstellung von Heu auf Silage sowie ein Lastmanagement für die Stallklimatisierung mit ein. Die realistische Variante führt zu einer Einsparung von 3'400 kWh oder 12.2 GJ pro Betrieb und Jahr (24 %) und die optimistische Variante zu 4'900 kWh bzw. 17.6 GJ (35 %).

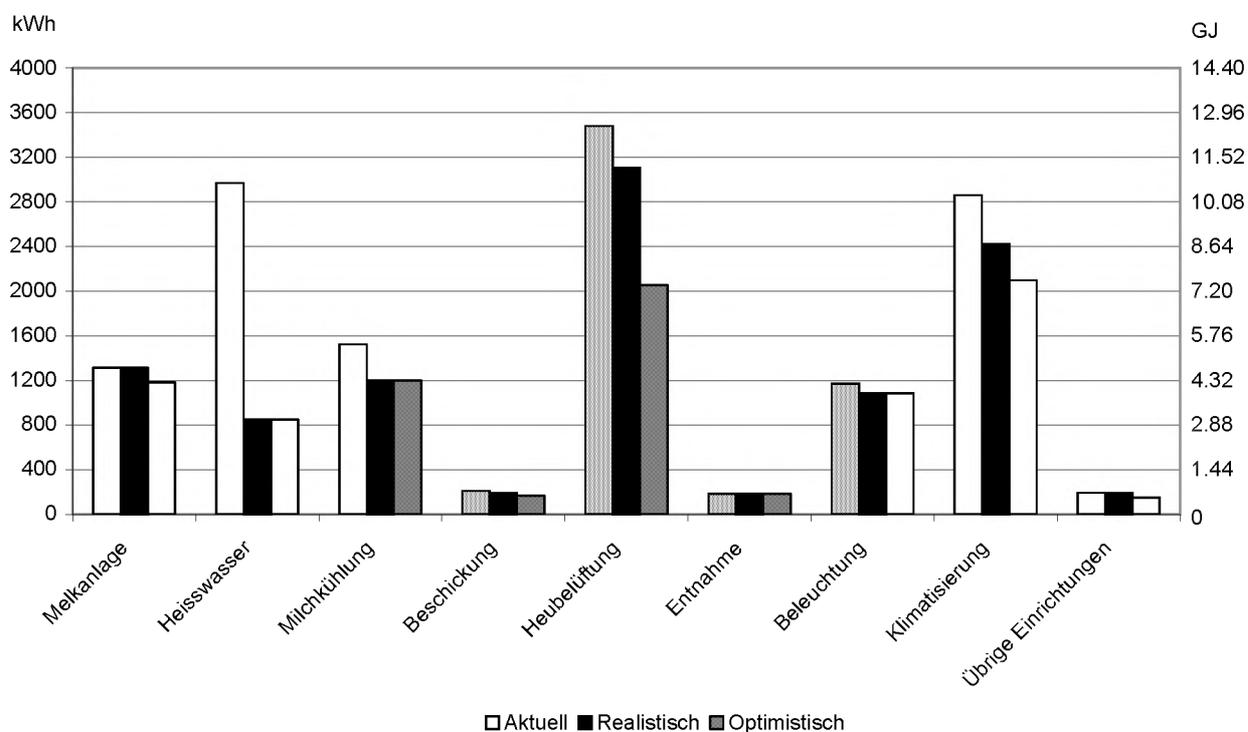


Abbildung 7: Einsparung an Stromverbrauches auf dem Durchschnittsbetrieb

5.3 Einsparung an Treibstoff

Im Bereich Treibstoff sind folgende Einsparungen möglich:

- Optimaler Einsatz von Traktoren.
- Gezogene Anbaugeräte an Stelle zapfwellengetriebener Geräte verwenden..
- Vermindern der Anzahl Überfahrten durch den Einsatz von Anbaukombinationen.
- Treibstoffsparende Fahrweise (Eco-Drive).
- Reifendruck den Verhältnissen anpassen (Acker tief, Strasse hoch).

5.3.1 Optimaler Einsatz von Traktoren

Grundsätzlich kann auf folgende Weise beim Traktor Energie gespart werden:

- ◆ Traktor dem Betrieb angepasst wählen, d.h. beispielsweise grosse Traktoren nur für schwere Arbeiten einsetzen.
- ◆ Gross dimensionierte Reifen verwenden.
- ◆ Wenn nötig Zusatzgewichte gebrauchen um den Schlupf zu reduzieren.
- ◆ Nicht unnötigerweise Vollgas geben (Eco-Drive).
- ◆ Luftfilter regelmässig reinigen bzw. ersetzen.
- ◆ Wartungsarbeiten gemäss Betriebsanleitung befolgen.
- ◆ Leerfahrten vermeiden.

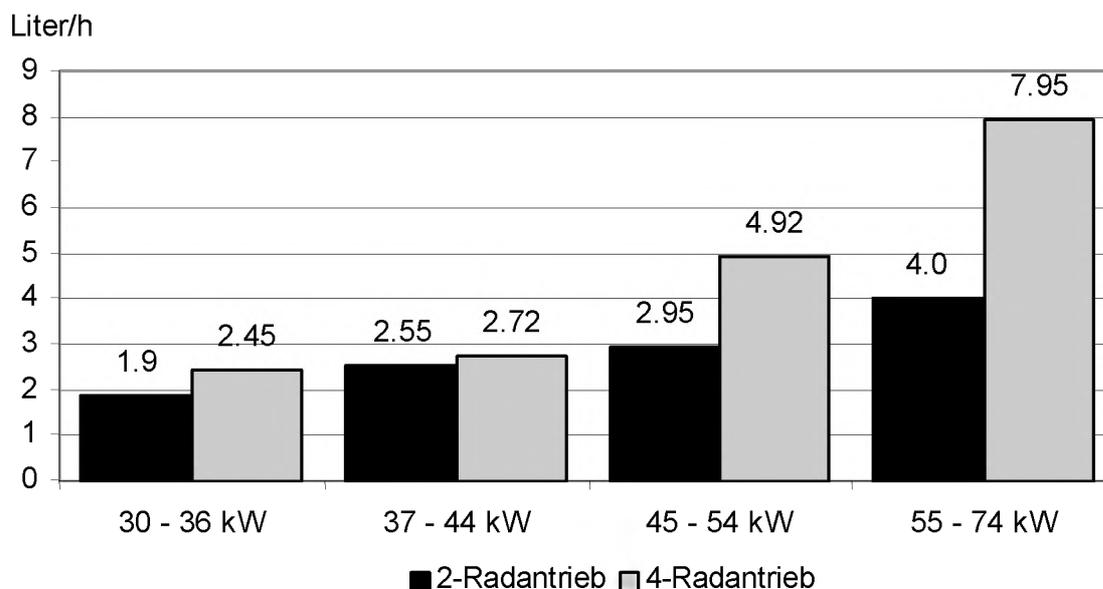


Abbildung 8: Vergleich des Treibstoffverbrauchs von Traktoren mit 2-Rad- und 4-Radantrieb

Ergebnisse einer Praxiserhebung durch die FAT [Ammann, Stadler] zeigen, dass der Betrieb des Traktors mit eingeschaltetem Vierradantrieb zu einem Mehrverbrauch an Diesel führt. Leistungsstarke Traktoren (ab 45 kW) verbrauchen bis doppelt soviel Treibstoff mit Vierradantrieb im Vergleich zum Zweiradantrieb. Bei leistungsschwächeren Traktoren (bis 44 kW) liegt der Mehrverbrauch unter 30 %.

Traktoren mit Vierradantrieb sind schwerer und das Getriebe verursacht einen höheren Widerstand als bei Traktoren mit Zweiradantrieb. Hingegen verbessert der Vierradantrieb die Antriebsleistung und steigert die Sicherheit bei Einsatz im Hang und Gelände.

5.3.2 Gezogene Anbaugeräte an Stelle zapfwellengetriebener Geräte

Mehrjährige Versuche zur Saatbettbereitung durch die FAT [Anken, 1996] verdeutlichen, dass eine gezogene Federzinkenegge im Vergleich zu zapfwellengetriebenen Eggen nur 20 % bis 50 % des Energiebedarfes benötigen. Obwohl die Federzinkenegge das Saatbett gröber bearbeitet, nutzt sie die auf die Saatbettfeinheit eingesetzte Energie wesentlich effizienter als die zapfwellengetriebenen Eggen.

Bei Kulturen, die ein sehr feines Saatbett verlangen, kann auf zapfwellengetriebene Bearbeitungsgeräte nicht verzichtet werden, da gezogene Geräte zur Erzielung des gleich feinen Saatbetts eine unverhältnismässig längere Bearbeitungszeit zur Folge hätten.

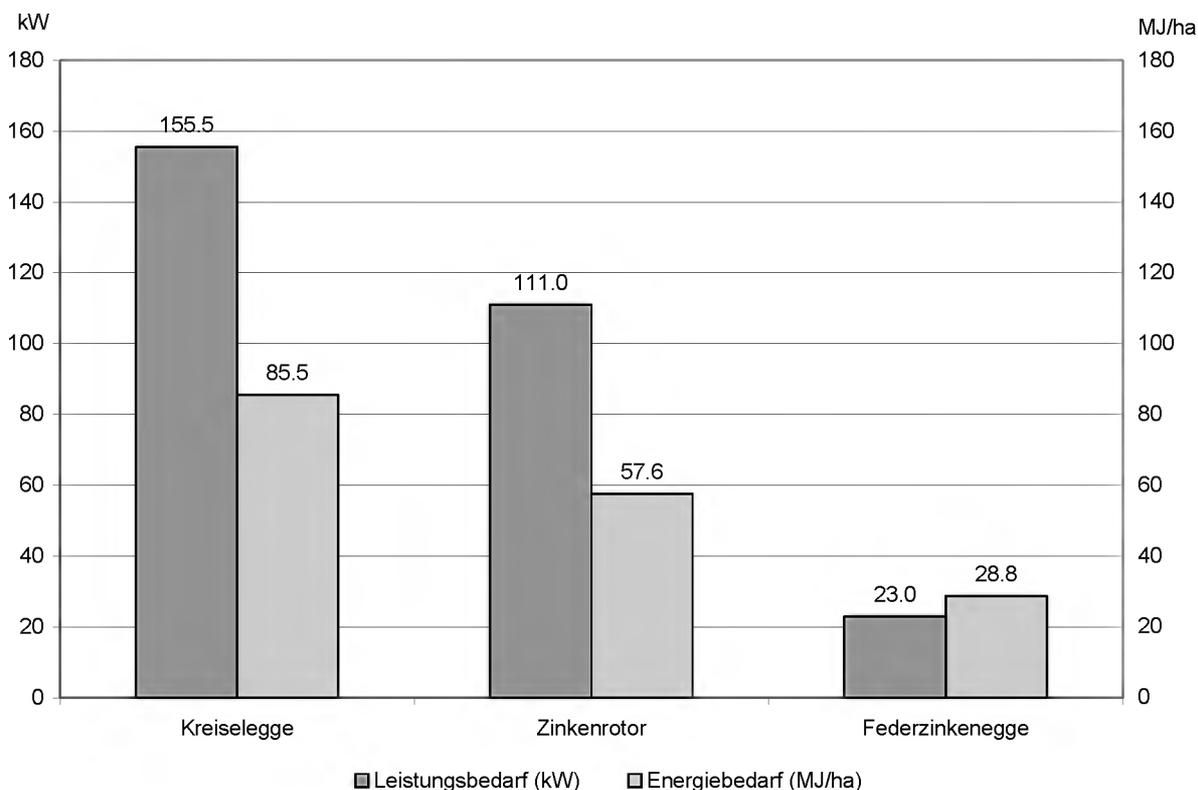


Abbildung 9: Vergleich von zapfwellengetriebenen Eggen und gezogene Federzinkenegge zur Saatbettbereitung

5.3.3 Vermindern der Anzahl Überfahrten mit Einsatz von Anbaukombinationen

Im Getreidebau sowie bei Kunstwiesen können mit der Kombination Fräse, Sämaschine und Walze zwei Arbeitsgänge eingespart werden.

Eine weitere Möglichkeit der Einsparung von Bearbeitungsschritten bietet die Minimalbodenbearbeitung, wie die Streifenfrässaat bei Mais.

Die konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug verbraucht 45 l/ha. Die Minimalbestellung mit Frässämaschine reduziert den Verbrauch um 20 l/ha und mit der Direktsaat können sogar 35 l/ha gegenüber dem Pflug eingespart werden (vgl. Abbildung 10).

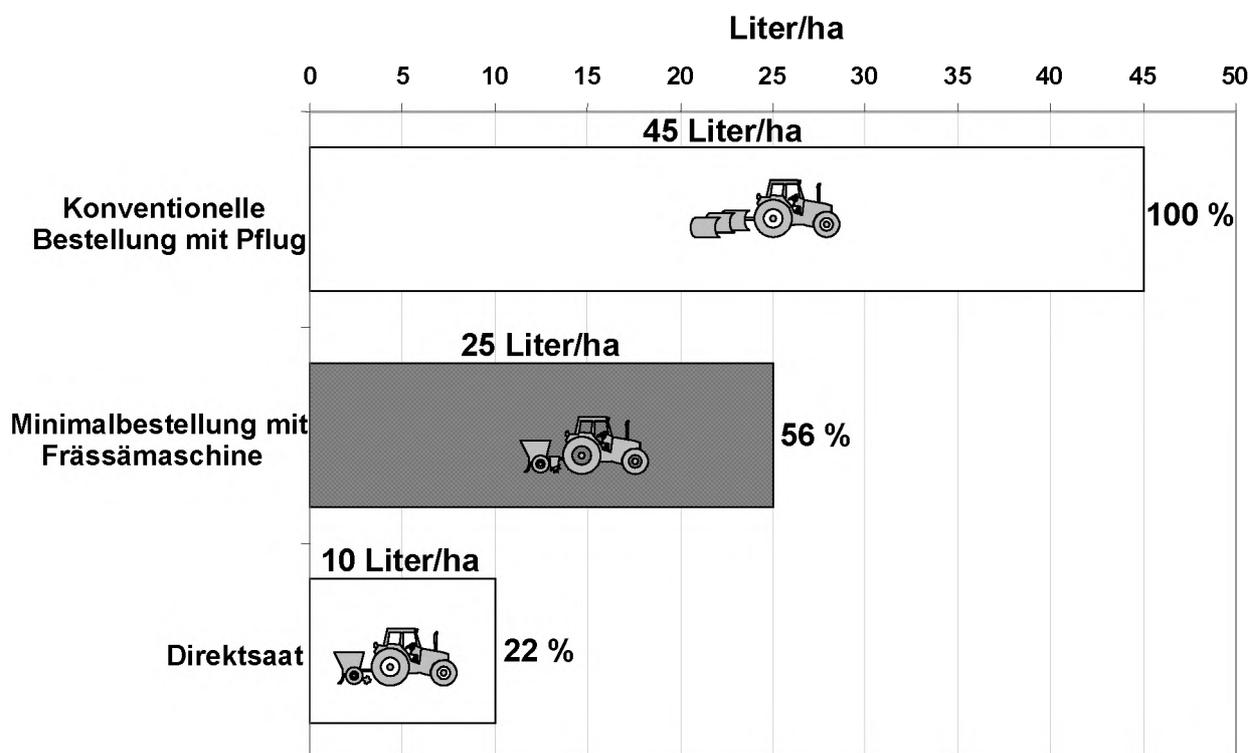


Abbildung 10: Dieserverbrauch verschiedener Bestellverfahren

5.3.4 Treibstoffsparende Fahrweise (Eco-Drive)

Die „Eco-Drive“-Fahrweise senkt den Treibstoffverbrauch um 10 bis 20 %, ohne auf Leistung und Schlagkraft verzichten zu müssen [Stadler, Schiess]. Die treibstoffsparende Fahrweise beinhaltet einerseits eine kleinere Motordrehzahl, dies bedeutet 60 bis 80 % der Nenndrehzahl des Motors, und andererseits eine höhere Motorbelastung, d.h. Wahl eines grösseren Ganges. Die „Eco-Drive“-Fahrweise ist sowohl im Ackerbau und im Zapfwellen-

einsatz als auch bei Strassenfahrten anwendbar. Beispielsweise zeigen Messungen beim Pflügen ohne und mit Eco-Drive mit einem Traktor mit einer Leistung von 50 kW und einem Leistungsbedarf von 60 % entsprechend 30 kW, dass mit der Wahl der richtigen Fahrstrategie 1.8 l/h oder 18 % Treibstoff eingespart werden können [Stadler, Schiess]. Ohne Eco-Drive beträgt der Verbrauch 10.1 l/h, was einem spezifischen Verbrauch von 280 g/kWh entspricht. Mit Eco-Drive-Fahrweise hingegen liegt der Verbrauch bei 8.3 l/h bzw. 230 g/kWh.

5.3.5 Reifendruck den Verhältnissen anpassen

Im Ackerbau sollte der Reifendruck abgesenkt und bei Strassenfahrten der Reifendruck zur Verringerung des Rollwiderstandes angehoben werden. Eine geeignete Auswahl der Bereifung, beispielsweise Doppelräder im Ackerbau, führt zur Reduktion von Schlupf.

5.4 Einsparungspotential an Treibstoffen

Der Durchschnittsbetrieb verbraucht ohne Einsparung 5'000 l/Jahr (Abbildung 11). Unter realistischen Bedingungen lassen sich knapp 400 l pro Jahr einsparen, was 7 % weniger Treibstoff bedeutet. Unter optimistischen Voraussetzungen könnte der betriebliche Treibstoffverbrauch auf rund 4'240 l pro Jahr bzw. knapp 16 % verringert werden.

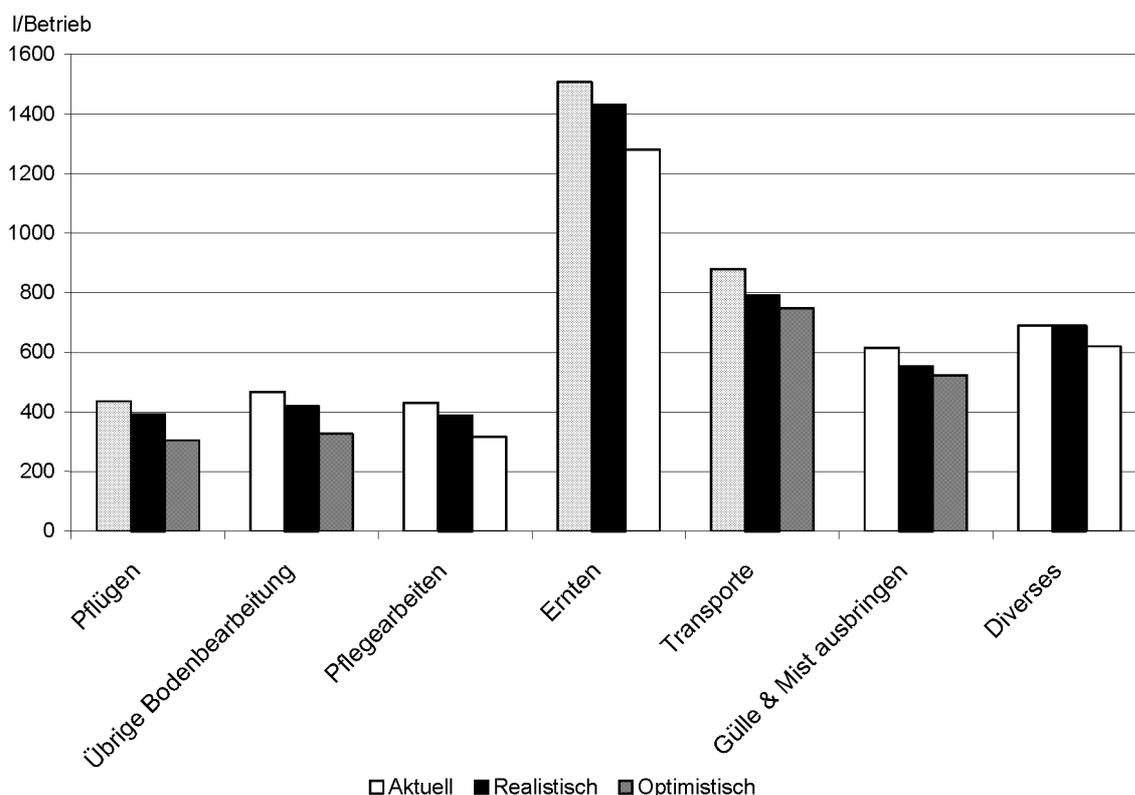


Abbildung 11: Einsparung im Bereich Treibstoffe auf dem Betrieb

Bei der Berechnung des Einsparpotentials wurde für die realistische Variante davon ausgegangen, dass die Eco-Drive-Fahrweise, wo überall möglich, angewandt wird.

Die optimistische Variante umfasst zusätzlich den Einsatz gezogener Saatbettbereitmascinchen sowie einen weitgehenden Ersatz der konventionellen Bestellung mit dem Pflug durch die Direktsaat oder Minimalbestellverfahren.

5.5 Energieeinsparpotential in der Landwirtschaft

Das Einsparpotential an elektrischer Energie und an Treibstoffen ist in drei Teile unterteilt (Abbildung 12). Der aktuelle Stand ist mit einer realistischen und optimistischen Variante verglichen. Die realistische Variante führt zu einer Einsparung von rund 1'300 TJ entsprechend etwa 13 % und die optimistische Variante von 2'000 TJ oder etwa 20 %.

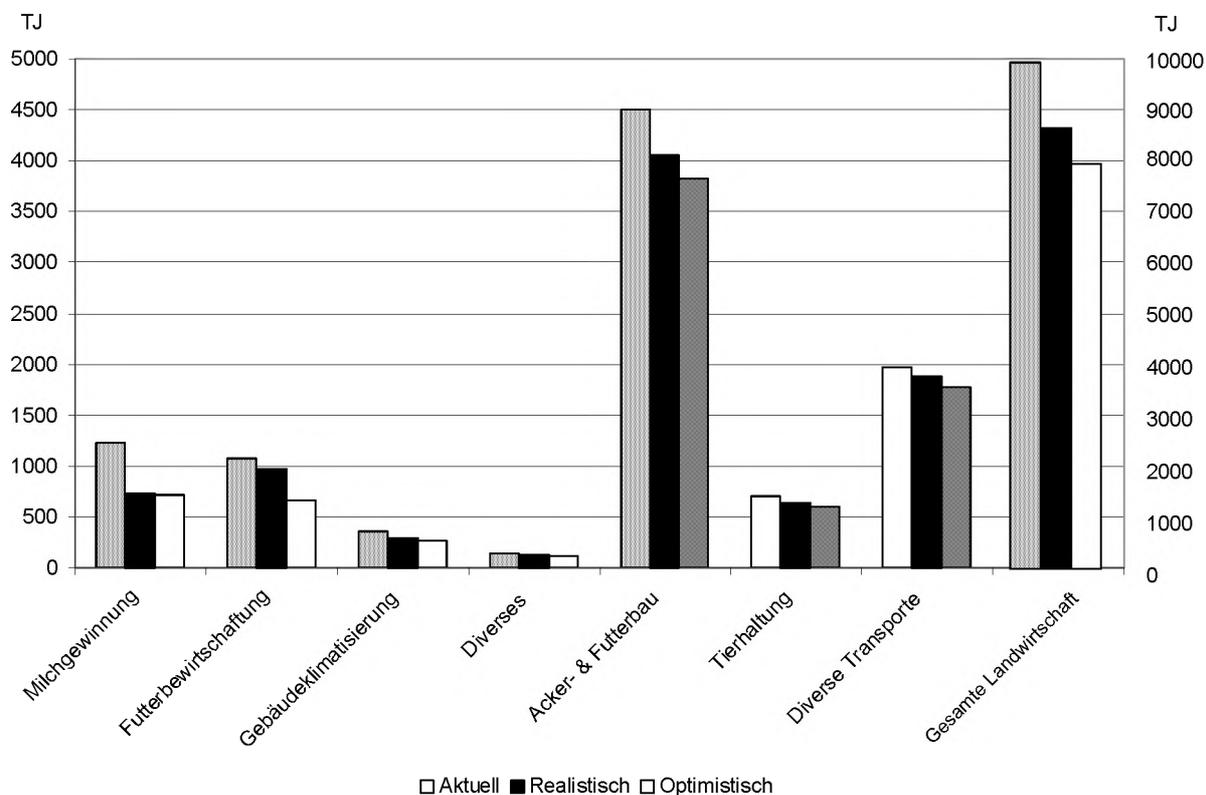


Abbildung 12: Energieeinsparpotential in der Landwirtschaft

Elektrische Energie lässt sich vor allem durch Energierückgewinnung aus der Milchkühlung sowie durch solare Heutrocknung im Fall der realistischen Variante einsparen. Die optimistische Variante beinhaltet im weiteren ein Lastmanagementsystem für die Stallklimatisierung. Bei den Treibstoffen führt die Eco-Drive-Fahrweise zu einer Einsparung. Zusätzlich ist der vermehrte Einsatz von gezogenen anstatt zapfwellengetriebenen Bearbeitungsgeräten sowie die Verwendung von Anbaukombinationen zur Reduzierung der Anzahl Überfahrten eingerechnet.

6 Substitutionsmöglichkeiten durch Biomasseeinsatz

Im Folgenden werden die wichtigsten in der Landwirtschaft umsetzbaren Alternativen auf der Basis von Biomasse behandelt. Sie substituieren nichterneuerbare Energieträger, wie Diesel, Heizöl und Erdgas.

6.1 Flüssige und gasförmige Bioenergieträger

Folgende flüssige und gasförmige Bioenergieträger werden eingehender behandelt, weil sie zur Zeit in der Schweiz auf Stufe Forschungs-, Pilot- oder Praxisanlage Anwendung finden:

- ◆ Rapsmethylester (RME).
- ◆ Rapsölgemisch.
- ◆ Rapsöl.
- ◆ Biogas.
- ◆ Bioalkohol.

6.1.1 Rapsmethylester (RME)

Rapsmethylester (RME) gilt als technisch weitgehend ausgereifter und praxiserprobter alternativer Energieträger. Aufgrund politischer und marktwirtschaftlicher Rahmenbedingungen hat sich diese Technologie nur bedingt in der Schweiz durchsetzen können.

In der Pilotanlage in Etoy wird RME von über 1'000 ha Raps hergestellt und vorwiegend ausserhalb der Landwirtschaft als Dieseleratz verwendet.

Von 1 ha Raps lassen sich rund 1'300 l RME herstellen [Wolfensberger et al., 1993].

Aufgrund der bestehenden Treibstoffgesetzgebung, der aktuellen Marktsituation sowie ökologischer Zielsetzungen ist eine vermehrte Verbreitung von RME als Treibstoff wenig wahrscheinlich.

Das Produktionspotential würde die Möglichkeit bieten, eine Erweiterung der Anbaufläche für Raps auf bis zu 14'000 ha zu realisieren, entsprechend 18.2 Mio. l RME. Somit könnte jeder siebte Traktor mit RME betrieben werden.

RME in einem BHKW zu nutzen, ist denkbar, aber abhängig vom Stromeinspeisetarif. Bei einem angenommenen Wärmeabsatz von Rp. 10/kWh_{th} müsste der Stromeinspeisetarif im Bereich des Solarstroms liegen.

6.1.2 Rapsölgemisch

Prinzipiell ist es möglich Rapsöl mit petrochemischen Komponenten zu mischen. Die FAT konnte nachweisen, dass ein Gemisch von Rapsöl und Kerosin (Jet A-1) eine Alternative zur Umesterung von Rapsöl sein kann [Rinaldi et al.]. Das Treibstoffgemisch weist weitgehend die gleichen Eigenschaften wie Diesel auf. Selbstproduziertes Rapsöl kann in einer kleingewerblichen Anlage kaltgepresst werden. In einer einfachen Mischvorrichtung werden zu 50 Vol.-% Rapsöl 50 Vol.-% Kerosin beigegeben. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie die Wirtschaftlichkeit sprechen gegen eine Verbreitung dieser Möglichkeit. Hinzu kommt, dass das Treibstoffgemisch bis anhin von den Motorenherstellern weder geprüft noch freigegeben wurde.

6.1.3 Rapsöl

Die Verwendung von reinem Rapsöl als Treibstoff bedingt immer auch eine motorseitige Anpassung. Im Automobilbereich sind entsprechende Kleinserien auf dem Markt verfügbar. Vergleichbare Ausrüstungen werden für Traktoren zurzeit jedoch nicht angeboten. Ein denkbarer Einsatz für reines Rapsöl stellt die stationäre Anwendung mit entsprechenden Dieselmotoren als BHKW dar. Die Wirtschaftlichkeit gegenüber Heizöl bzw. Diesel ist wegen des Rapsölpreises nicht gegeben.

6.1.4 Biogas

Laut schweizerischer Gesamtenergiestatistik standen 1999 67 Biogasanlagen in der Landwirtschaft in Betrieb. Die Energiebereitstellung belief sich auf 14 GWh, wovon 2'600 MWh in Strom und 3'200 MWh in Nutzwärme umgewandelt wurden [BfE, 1999].

Mittelfristig könnte eine Verdoppelung der Biogasproduktion realisiert werden, was zu einer Stromproduktion von etwa 5 GWh führt, entsprechend 0.5 % des gesamten Elektrizitätsverbrauches der Landwirtschaft [Hersener, Meier].

Eine Verwendung des Biogas als Treibstoffersatz für Traktoren ist machbar [Fankhauser et al., 1983], aber einerseits aufgrund der zu erwartenden kleinen Umrüstungsserien unwirtschaftlich, andererseits für die Landwirtschaft wegen des verbilligten Treibstoffes nicht interessant [Fankhauser et al., 1985].

Die Umwandlung von Biogas in BHKW's zu Strom und Wärme ist bei der Vergärung von Hofdünger zusammen mit weiteren geeigneten Abfällen wirtschaftlich sinnvoll. Werden geeignete Abfälle mitvergärt, lässt sich ohne weiteres der gesamte Strom- und Wärmebedarf eines Durchschnittsbetriebes decken bzw. den Strom ins öffentliche Netz einspeisen.

6.1.5 Bioalkohol

Zucker-, stärke- und cellulosehaltige Biomasse kann durch alkoholische Gärung in Ethanol umgewandelt werden.

Die Zumischung von Ethanol zu Otto- als auch Dieselkraftstoff ist grundsätzlich möglich. Bei Gemischen mit Diesel kann der Anteil an Ethanol bis zu etwa 30 % betragen. Da Dieselmotoren mit Ethanol nicht in Serie produziert werden, ist deren Verbreitung nicht gegeben.

Die Mischung mit Benzin ist demgegenüber ein etabliertes Verfahren. Maximal 20 bis 25 % Ethanol können dem Benzin zugemischt werden, ohne dass Änderungen am Motor erforderlich wären. Aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen und Treibstoffnormen ist der Grad der Zumischung aber begrenzt. Die restriktive Haltung der Motorenhersteller und auch der Politik gegenüber einer Ethanolbeimischung zum Benzin beschränken den Praxiseinsatz. In Europa erfolgt die Beimischung von Ethanol zu Benzin nur in Frankreich, allerdings als Ethyl-Tertiär-Butyl-Ether (ETBE), der aus der chemischen Umwandlung von Bioethanol stammt [Kaltschmitt et al., 2001].

In der Schweiz sind Bestrebungen im Gang, aus halmgutartigen Materialien, wie Gras, Klee-Gras-Mischungen und Landschaftspflegematerial Alkohol zu gewinnen. Erste Forschungsergebnisse zeigen die Praxistauglichkeit des Verfahrens in technischer Hinsicht auf. Zur Nutzung des gewonnenen Alkohols als Treibstoff ist eine Konzentrierung auf die geforderten Treibstoffspezifikationen notwendig. Da die Alkoholproduktion mit der Produktion weiterer Produkte (Protein und Fasern) verbunden ist, sind Aussagen betreffend Kosten und Wirtschaftlichkeit direkt mit der Vermarktungsmöglichkeit der Koppelprodukte verknüpft.

Die Produktion von Bioalkohol aus halmgutartiger Biomasse ist in der Schweiz im Forschungsstadium. Mit einer Umsetzung und damit klarerer wirtschaftlicher Rahmenbedingungen kann erst nach Inbetriebnahme einer grösseren Pilotanlage gerechnet werden.

Bioalkohol als Treibstoff in stationären Wärmekraftmaschinen (BHKW) hat den Vorteil, dass allfällig höhere Treibstoffkosten durch höhere Erlöse aus der Stromeinspeisung (Oekostromtarif) kompensiert werden könnten.

6.2 Feste Bioenergieträger

Feste Bioenergieträger sind:

- Holz
- Feldgehölze
- Landschaftspflegematerial
- Hofdüngerfeststoffe.

Sie können alle als Brennstoff verwendet werden.

6.2.1 Holz

Holz spielt als fester Energieträger in der Landwirtschaft die wichtigste Rolle. Da der durchschnittliche Landwirtschaftsbetrieb auch über Wald verfügt und aus arbeitswirtschaftlichen Gesichtspunkten die Holzaufbereitung, insbesondere in den Wintermonaten einen willkommenen Nebenerwerb darstellt, ist die Verbreitung von Holzfeuerungen hoch.

Zur Nutzung von Holz zu Heizzwecken stehen verschiedene Feuerungen zur Auswahl:

- ◆ Kombiherd
- ◆ Kachelofen
- ◆ Schnitzel-, Stückholzfeuerung oder Pelletfeuerung.

Im Fall eines konstanten Prozessenergiebedarfes oder der Möglichkeit einen Wärmeverbund zu betreiben, bieten sich grössere Schnitzel- bzw. Biomassefeuerungen an. Bei mehr als 5 MW thermischer Leistung ist auch die Stromauskopplung denkbar und wirtschaftlich. Solche Anlagenstandorte sind jedoch in der Schweiz nur beschränkt vorhanden.

Die Wirtschaftlichkeit der Holzfeuerungen wird im wesentlichen durch den Holzpreis bzw. günstige Logistik sowie den Auslastungsgrad und den Anlagekosten bestimmt.

Eine Stromauskopplung bei Kleinanlagen, kleiner 5 MW, ist nicht wirtschaftlich.

6.2.2 Feldgehölze

Da die schweizerische Landwirtschaft vermehrt ökologische Leistungen erbringen muss und im Zuge dieser Ökologisierung Hecken und Feldgehölze an Bedeutung gewinnen, muss deren energetische Nutzung in Betracht gezogen werden. Da die Eigenschaften von Feldgehölzen weitgehend mit denjenigen von Waldholz identisch sind, können konventionelle Holzfeuerungen zum Einsatz kommen (vgl. Kapitel 6.2.1).

6.2.3 Landschaftspflegematerial

Die extensivere Bewirtschaftung führt zu einer Zunahme von Landschaftspflegematerial. Auf Ackerflächen fällt beispielweise Chinaschilf an. Beide Brennstoffe sind wegen ihrer Zusammensetzung und ihrer Verbrennungseigenschaften als eher schwierige Brennstoffe einzustufen. Um die gesetzlichen Vorschriften bezüglich Lufthygiene einhalten zu können, müssen die verwendeten Feuerungsanlagen aufwendiger konstruiert und mit entsprechenden Filteranlagen ausgestattet werden. Eine Amortisation dieser zusätzlicher Kosten ist nur bei grossen Anlagen (ab 1 MW) tragbar.

Kleinanlagen sind unwirtschaftlich.

6.2.4 Hofdüngerfeststoffe

Güllenfeststoffe, die bei der Separierung (Fest-Flüssig-Trennung) anfallen, können zusammen mit Holz oder anderen naturbelassenen Biomassesortimenten verbrannt werden. Analog zu Landschaftspflegematerial ist die thermische Nutzung von Güllenfeststoff im Vergleich zu Holz als schwieriger Brennstoff einzustufen. Daher gelten für diesen Brennstoff die gleichen Anforderungen wie in Kapitel 6.2.3 erwähnt.

Vor allem in Regionen mit einem zu hohen Güllenanfall kann die thermische Nutzung eine wirtschaftliche und ökologisch sinnvolle Alternative darstellen [Hersener, Bühler, 1998].

6.3 Energetische Bewertung der Biomassesortimente

Die untersuchten Biomassesortimente, wie in Tabelle 8 aufgeführt, können bezüglich ihrer Eigenschaften und Entwicklungstendenzen verglichen werden. Die Enthalpie bedeutet den Energieinhalt des entsprechenden Biomassesortimentes, das theoretische Potential bezieht sich auf die maximal, nachhaltig nutzbare Menge, die Praxistauglichkeit beschreibt den derzeitigen technischen Entwicklungsstand vorhandener Technologien bzw. eingesetzter Verfahren. Das Entwicklungspotential fokussiert in die Zukunft und weist einerseits auf den notwendigen Forschungsbedarf, andererseits auf die technische Umsetzung hin.

Tabelle 8: Vergleich verschiedener Biomassesortimente

	Enthalpie	Theoretisches Potential	Praxistauglichkeit	Entwicklungspotential
RME	✓✓✓	✓	✓✓✓	✓
Rapsölgemisch	✓✓✓	✓	✓✓	✓✓
Rapsöl	✓✓✓	✓	✓	✓✓
Biogas	✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓
Bioalkohol	✓✓	✓✓	✓	✓✓✓
Holz	✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓
Feldgehölze	✓	✓	✓✓✓	✓✓
Landschaftspflegematerial	✓	✓	✓	✓✓
Hofdüngerfeststoffe	✓	✓	✓	✓✓

Legende: ✓✓✓ = hoch; ✓✓ = mittel; ✓ = gering

Holz weist sowohl ein hohes, leicht nutzbares Potential als auch eine hohe Praxistauglichkeit bei der Wärmeerzeugung auf und stellt unter den Bioenergieträgern die für die Landwirtschaft beste Lösung dar.

Rapsöl und Rapsölgemisch sind wegen ihrer beschränkten Verfügbarkeit und noch unausgereifter Praxistauglichkeit die am wenigsten nutzbaren Bioenergieträger.

RME und Feldholz bilden zwar praxistaugliche Alternativen, haben aber ein geringes Potential um bei der Substitution durch Biomasse eine wichtige Rolle zu spielen.

Güllenfeststoffe und Alkohol könnten in Zukunft eine gewisse Bedeutung erlangen, wenn die noch ausstehenden Praxistauglichkeit fundierter belegt wird.

Biogas stellt ein hohes Potential dar und kann als Energieträger vielseitig weiterverwendet werden (BHKW, Einspeisung ins Gasnetz, Fahrzeugbetrieb).

6.4 Substitutionspotential mittels Biomasseinsatz auf dem Durchschnittsbetrieb

Bezogen auf den berechneten Durchschnittsbetrieb trägt die Vergärung der betrieblichen Hofdünger zu einer Energiebereitstellung von rund 54 GJ bis 72 GJ (15'000 bis 20'000 kWh) Strom und 72 GJ bis 90 GJ (20'000 bis 25'000 kWh) Nutzwärme bei. Damit könnte der gesamte Strombedarf des Betriebes mit rund 50 GJ gedeckt und zusätzlich das Wohnhaus beheizt werden. Das bäuerliche Wohnhaus verbraucht schätzungsweise 3'000 – 4'000 l Heizöl pro Jahr, was 110 – 145 GJ oder 30'000 – 40'000 kWh entspricht. Somit kann mit einer Biogasanlage zwischen 50 und 60 % des Wärmebedarfes des Wohnhauses gedeckt werden.

Zur Deckung eines allfälligen Wärmedefizits kann eine Holzfeuerung eingesetzt werden. Der Durchschnittsbetrieb verfügt über eine Waldfläche von 1.85 ha. Damit lassen sich etwa 83 GJ oder 23'000 kWh an Wärme substituieren, was der Wärmebereitstellung aus der Vergärung der Hofdünger entspricht.

Auf diese Weise kann theoretisch auf dem Durchschnittsbetrieb bezüglich Strom und Wärme eine Energieautarkie erzielt werden.

Im Bereich der Treibstoffe ist nur RME bzw. Biogas als Substitut von Diesel bzw. Benzin realistisch.

Der Einsatz von RME ist für Dieselfahrzeuge am ehesten als Treibstoffersatz denkbar. Sowohl vom wirtschaftlichen als auch technischen Standpunkt ist eine Realisierung durchführbar. Die beschränkte Treibstoffproduktion in der Schweiz verunmöglicht aber einen flächendeckenden Einsatz in der Landwirtschaft.

Auf der Rapsfläche von 0.38 ha des Durchschnittsbetriebes könnten 16'300 MJ oder etwa 4'500 kWh in Form von RME produziert werden, was rund 450 l Treibstoff oder 8 % des gesamtbetrieblichen Treibstoffverbrauchs entspricht.

Biogas als Treibstoffersatz ist nur realistisch, wenn die Wirtschaftlichkeit mittels Co-Vergärung oder Gemeinschaftsanlagen erreicht wird. Der Einsatz von Biogas als Treibstoff ist als Benzinersatz für PW leicht realisierbar. Für dieselbetriebene Fahrzeuge hingegen sind umfangreichere Anpassungen notwendig. Ausserdem ist die Frage der Speicherung insbesondere bei Traktoren nicht praxistauglich und eine Umrüstung zur Zeit noch unwirtschaftlich.

Im Übrigen gilt für alle Treibstoffalternativen, dass sie im Vergleich zu treibstoffzollbefreiten Diesel nicht konkurrenzfähig sind.

Der landwirtschaftliche Durchschnittsbetrieb hält weniger als 30 DGVE, was für den Betrieb einer Biogasanlage zwecks Treibstoffherstellung wirtschaftlich nicht tragbar ist.

Auf dem berechneten Durchschnittsbetrieb lassen sich aus Biomasse rund 248 GJ an Energie bereitstellen. Ohne Berücksichtigung der Wärme mit knapp 170 GJ könnten durch die Produktion von RME 16 GJ als Treibstoffersatz und mittels Vergärung der Hofdünger 65 GJ als Ersatz elektrischer Energie dienen. Somit lassen sich insgesamt 81 GJ an Energie substituieren, was einem Anteil von 33 % des gesamtbetrieblichen Energiebedarfs entspricht.

Für die Nutzung der Biomasse müssten auf dem Durchschnittsbetrieb in eine Biogasanlage und eine Holzfeuerung mehr als Fr. 200'000.- investiert werden. Bei einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren resultieren mehr als Fr. 13'000.- pro Jahr allein für die Abschreibungen. Der Einsatz von Biomasse reduziert den betrieblichen Aufwand um knapp Fr. 8'500.- pro Jahr, was nicht einmal zur Deckung der Abschreibungen ausreichen würde.

7 Handlungsbedarf

7.1 Elektrizität

Der Stromverbrauch ist im grossen Mass abhängig von der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung des Landwirtschaftsbetriebes. Spezialbetriebe, wie Veredlungsbetriebe sind nicht mit genauen Messdaten erhoben. Der berechnete Durchschnittsbetrieb widerspiegelt einen Talbetrieb. Eine weitere Differenzierung der Betriebe nach Zonen, voralpine Hügelizele und Berggebiet, wurde nicht vorgenommen.

Handlungsbedarf bezüglich Elektrizitätsverbrauch der Landwirtschaft besteht somit in folgenden Bereichen:

- Die Daten für Durchschnittsbetriebe sind aufgrund erster Abschätzungen nicht mit Spezial- oder Bergbetrieben vergleichbar. Spezialbetriebe, wie Schweinemäster haben vermutlich einen weit höheren Energieverbrauch im Stallbereich als Durchschnittsbetriebe. Hier ist sowohl ein höheres Einsparungspotential als auch die Möglichkeit Biomasse einzusetzen (Prozessenergiebedarf für Futteraufbereitung) denkbar.
- Die Wichtigkeit dieser Betriebe bezüglich des Gesamtenergieverbrauches der gesamten Landwirtschaft ist momentan nicht sicher abgeklärt.
- In der Elektrizitätsstatistik des BfE sind die Stromverbrauchsdaten der Landwirtschaft teilweise nicht genau unterschieden zwischen Haushalt und dem Betrieb. Eine gezieltere Umfrage könnte diesbezüglich mehr Klarheit verschaffen.

7.2 Treibstoffe

Der Treibstoffverbrauch beinhaltet Diesel und Benzin. Für Diesel sind mehrheitlich gemessene Verbrauchswerte verfügbar. Bei Benzin liegen für den Motormäher ebenfalls aktuelle Messdaten vor.

Sowohl der Diesel- als auch der Benzinverbrauch liegen gesamthaft über den von der Oberzolldirektion angegebenen Werten. Falls die bestehenden Datenlücken betreffend Verbrauchszahlen geschlossen sind, wäre eine Anpassung denkbar.

Handlungsbedarf bezüglich Treibstoffverbrauch in der Landwirtschaft besteht in folgenden Bereichen:

- Es fehlen gemessene Daten bei den sogenannten Restarbeiten, die den einzelnen Kulturen zuteilbar sind. Eine entsprechende Datenerhebung wäre sinnvoll.
- Ebenfalls fehlen konkrete Messdaten über den Treibstoffverbrauch des PW's für Transporte, die dem Betrieb zurechenbar sind.

8 Schlussfolgerungen

Der landwirtschaftliche Durchschnittsbetrieb benötigt 50 GJ oder 13'900 kWh an elektrischer Energie und 178 GJ bzw. 5'000 l Treibstoffe.

Der gesamte Stromverbrauch der schweizerischen Landwirtschaft beläuft sich auf 2'800 TJ oder 775 GWh. 178 Mio. l Diesel und 27 Mio. l Benzin oder 6'300 TJ bzw. 880 TJ werden als Treibstoffe benötigt.

Der berechnete Durchschnittsbetrieb widerspiegelt einen Gemischtbetrieb im Talgebiet.

Die Hochrechnung des Stromverbrauches auf der Basis des berechneten Durchschnittsbetriebes führt zu hohen Verbrauchswerten. Eine differenziertere Analyse der Landwirtschaftsbetriebe, aufbauend auf deren betriebswirtschaftlichen Ausrichtung, ergibt genauere Werte, die mit anderen Datenquellen vergleichbar sind.

Die Praxiserhebungen bei Diesel erlauben es den Treibstoffverbrauch relativ genau den einzelnen Kulturen bzw. deren Bearbeitungsschritte zuzuteilen. Zusätzlich sind für die Ausbringung der Hofdünger, weitere Transporte sowie der Tierhaltung zuteilbare Verbrauchswerte hinzuzurechnen. Beim Benzinverbrauch kommen neben dem Motormäher weitere Verbrauchsdaten mit dem PW, wie die Milchablieferung, sonstige Fahrten und Transporte dazu.

Das Einsparpotential an Strom auf dem Durchschnittsbetrieb liegt unter realistischen Annahmen bei 3'400 kWh pro Jahr bzw. 12 GJ (25 %) und unter optimistischen Annahmen bei 4'900 kWh oder knapp 18 GJ (35 %). Die wichtigsten Einsparmöglichkeiten bieten die Energierückgewinnung bei der Milchkühlung und die solare Heutrocknung. Die Stallklimatisierung lässt sich mit Hilfe eines Lastmanagementsystems optimieren.

Beim Treibstoffverbrauch kann eine Einsparung von 400 l pro Jahr (7 %) realisiert werden. Unter optimistischen Annahmen könnte der betriebliche Treibstoffverbrauch sogar auf rund 4'240 l pro Jahr bzw. um knapp 16 % verringert werden. Die ECO-Fahrweise, der Einsatz von gezogenen an Stelle von zapfwellengetriebenen Bearbeitungsgeräten sowie die Verwendung von Anbaukombinationen zur Verminderung der Anzahl Bearbeitungsgänge tragen am meisten zu einer Reduktion des Treibstoffverbrauches bei.

Substitutionsmöglichkeiten durch den Einsatz von Biomasse bieten sich vor allem im Bereich von Holz und Biogas aus der Vergärung sowie von Güllenfeststoffen und RME.

Mittelfristig könnten mit der energetischen Nutzung von Holz etwa 4'000 TJ (nur Landwirtschaft), von landwirtschaftlichen Ausgleichs-, Natur- und Landschaftspflegeflächen etwa 4'800 TJ, mit Mist und Gülle 400 TJ und mit RME 200 TJ bereitgestellt werden.

Insgesamt liegt das energetisch nutzbare Biomassepotential bei 9'400 TJ oder bei 95 % des landwirtschaftlichen bzw. 1 % des gesamtschweizerischen Energieverbrauches.

9 Literaturverzeichnis

Ammann, H., Stadler, E., 1998. Technische und organisatorische Aspekte des Traktoreinsatzes. FAT-Bericht Nr. 511.

Anken, Th.. 1996. Saatbettbereitung. FAT-Bericht Nr. 484.

Baumgartner, J.. 1996. Steuergeräte für die Heubelüftung. FAT-Bericht Nr. 478.

Baumgartner, J.. 1994. Grastrocknung mit Wärmepumpe. FAT-Bericht Nr. 447.

Baumgartner, J.. 1993. Solare Heutrocknung – Tag und Nacht?. FAT-Bericht Nr. 430.

Baumgartner, J.. 1991. Die Heubelüftung von A bis Z. FAT-Bericht Nr. 406.

Baumgartner, J., 1989. Heu- und Maistrocknung mit Luftentfeuchter-Wärmepumpe. FAT-Bericht Nr. 370.

Bergmann, F., 2000. Teilerstattung der Mineralölsteuer an die Landwirtschaft. FAT-Bericht Nr. 557.

BfK: Programme des Bundesamtes für Konjunkturfragen wie RAVEL, PACER etc.

Boxberger, J., Amon, B., Amon, Th., Jauschnegg, H. Strombedarf in der Landwirtschaft. 1997. Schriftenreihe der Energieforschungsgemeinschaft im Verband der E-Werke Österreichs. Vollst. Titel: Vorschläge zur Optimierung des Einsatzes der Elektroenergie in landwirtschaftlichen Betrieben Österreichs – betriebsspezifische Analyse des Verbrauchs und Abschätzung der künftigen Entwicklung.

Fankhauser, J., Ammann, H., Egger, K., Stadler, E., 1985. Erfahrungen mit Biogas als Treibstoff für Landwirtschaftstraktoren. FAT-Schriftenreihe Nr. 27.

Fankhauser, J., Moser, A., 1983. Studie über die Eignung von Biogas als Treibstoff für Landwirtschaftstraktoren. FAT-Schriftenreihe Nr. 18.

Gfeller, J.: Energiepolitische Beurteilung nachwachsender Rohstoffe, anlässlich des FAT-Workshops vom 22.10.97 in Tänikon

Grundlagenbericht, 1997. Ergebnisse der zentralen Auswertung von Buchhaltungsdaten. Eidg. Forschungsanstalt, FAT.

Kaltschmitt, M., Hartmann, H., 2001. Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.

Hersener, J.-L., Meier, U., 1999. Energetisch nutzbares Biomassepotential in der Schweiz sowie Stand der Nutzung in ausgewählten EU-Staaten und den USA. BfE, Bern

Nydegger, F., 1991. Sonnenkollektoren für die Heubelüftung – Planen und Realisieren. FAT-Bericht Nr. 407.

Nosal, D., 1989. Kosten der Milchkühlung und Wärmerückgewinnung. FAT-Bericht Nr. 364.

Rinaldi, M., Stadler, E., Schiess, I., 1997. Pflanzenölgemische als Dieseltreibstoff. FAT-Bericht Nr. 502.

Ryter, H., 2000. Eine Kuh wärmt 10 Liter Wasser. Landfreund Nr. 21, Bern.

Schweizerische Elektrizitätsstatistik, 1999. Bundesamt für Energie, BfE, Bern.

Schweizerische Gesamtenergiestatistik, 1999. Bundesamt für Energie, BfE, Bern.

Stadler, E., Schiess, I., 2000. Geprüfte Traktoren, Zweiachsmäher und Transporter. FAT-Bericht Nr. 552.

Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung. 1999. SBV Schweizerischer Bauernverband, Brugg.

Wolfensberger, U., Stadler, E., Schiess, I., 1993. Rapsmethylester als Treibstoff für Dieselmotoren. FAT-Bericht Nr. 427.

10 Anhang

Im Anhang sind die Treibstoffverbrauchswerte je Arbeitsschritt von folgenden Kulturen grafisch dargestellt:

- ◆ Getreide.
- ◆ Körnermais.
- ◆ Kartoffeln.
- ◆ Zuckerrüben.
- ◆ Silo- und Grünmais.
- ◆ Futterrüben.
- ◆ Kunstwiesen.
- ◆ Naturwiesen.

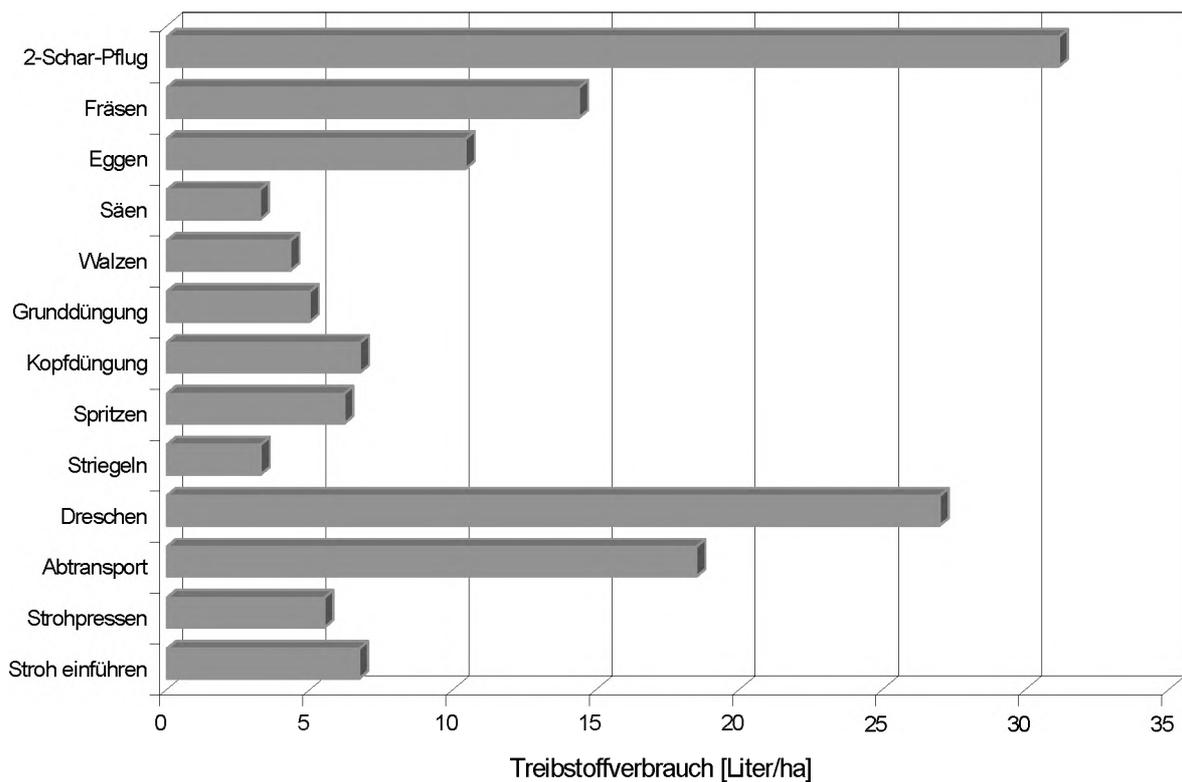


Abbildung 13: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt im Getreidebau

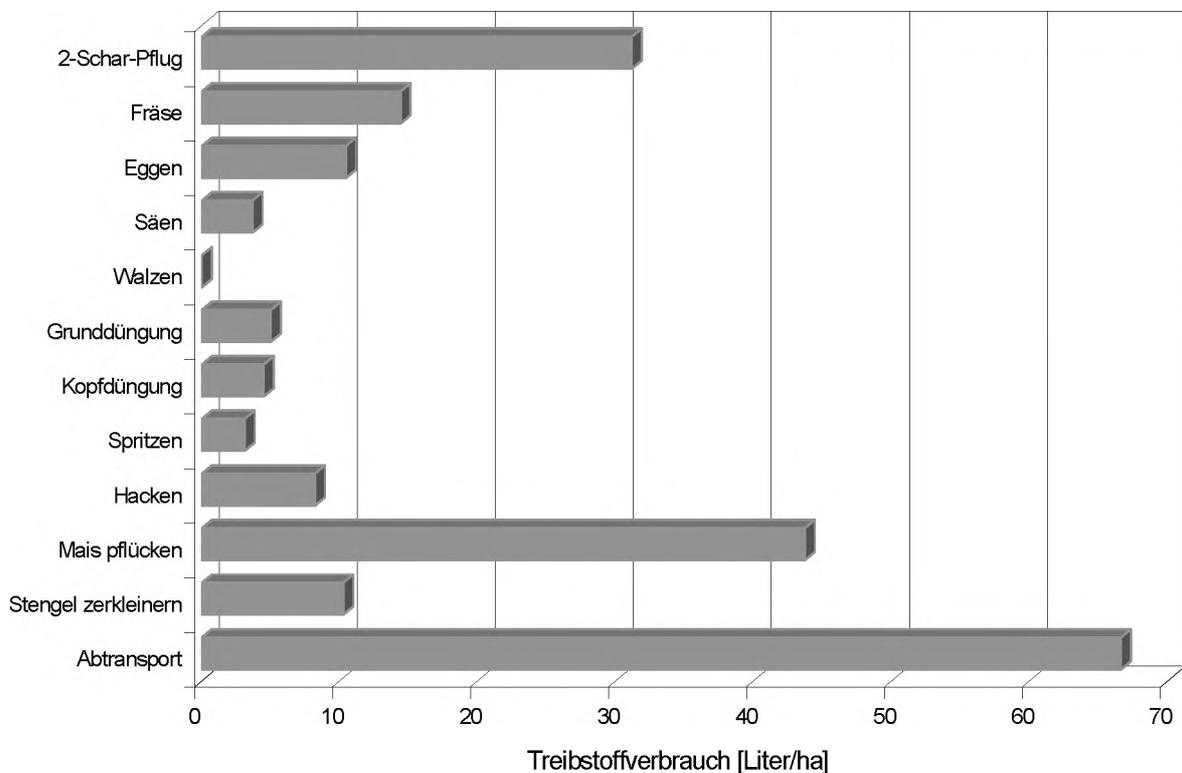


Abbildung 14: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Körnermais

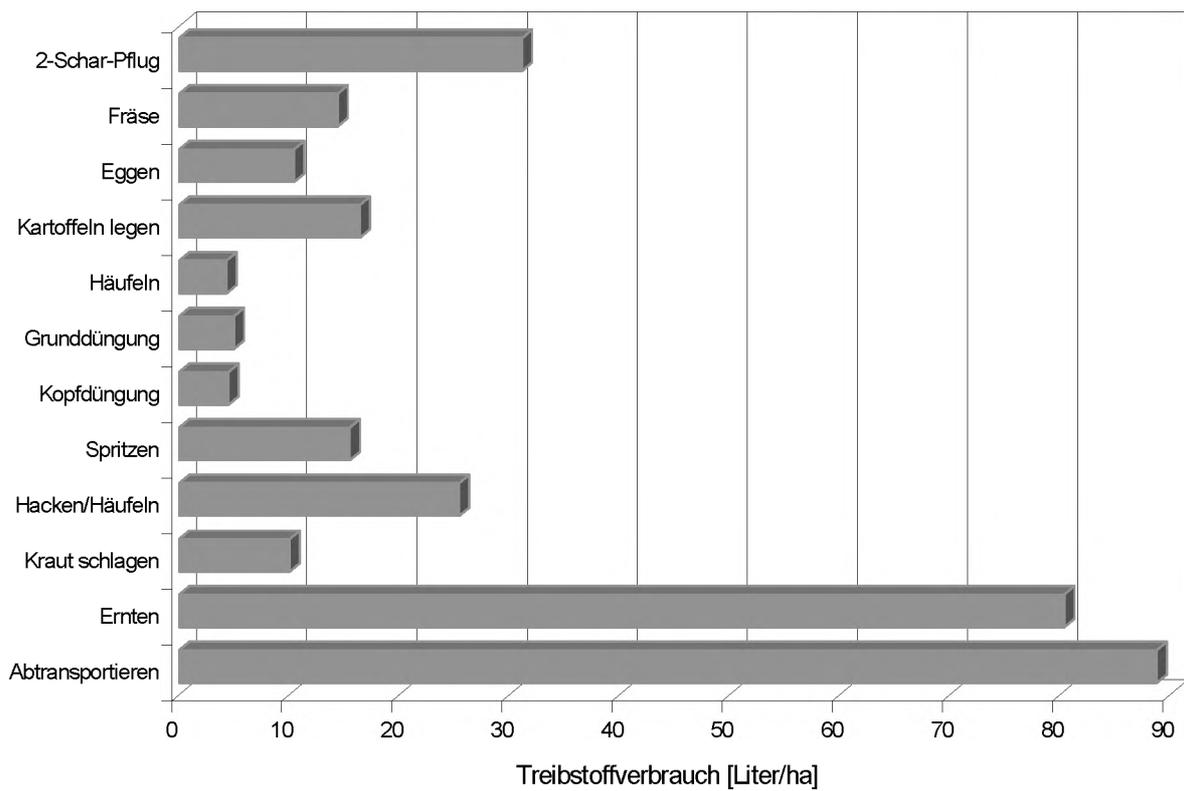


Abbildung 15: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt im Kartoffelbau

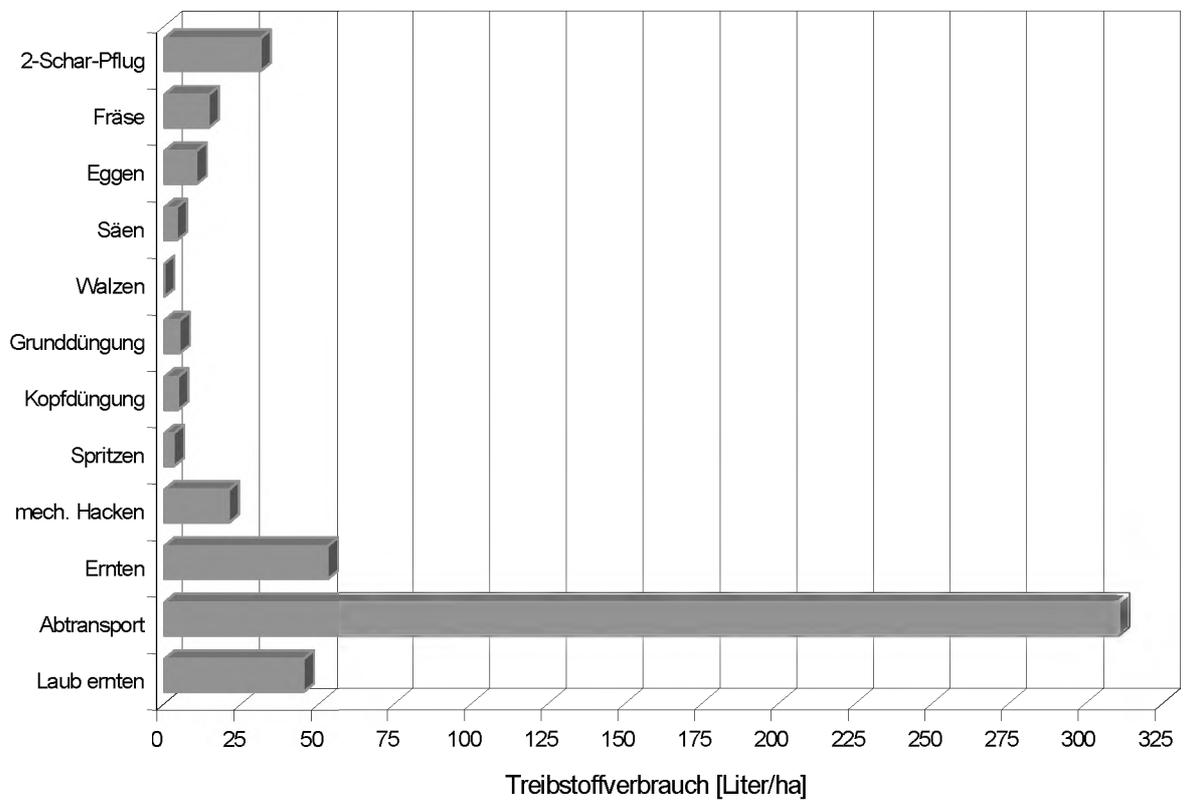


Abbildung 16: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Zuckerrüben

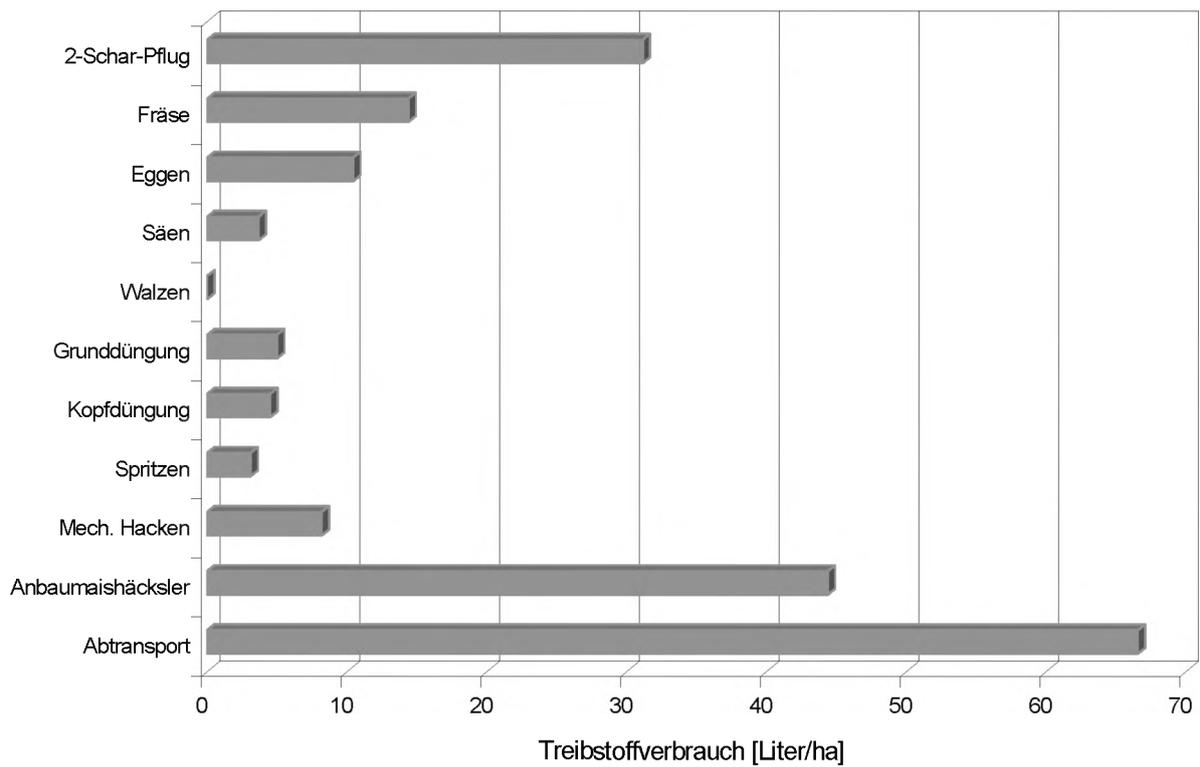


Abbildung 17: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Silo- und Grünmais

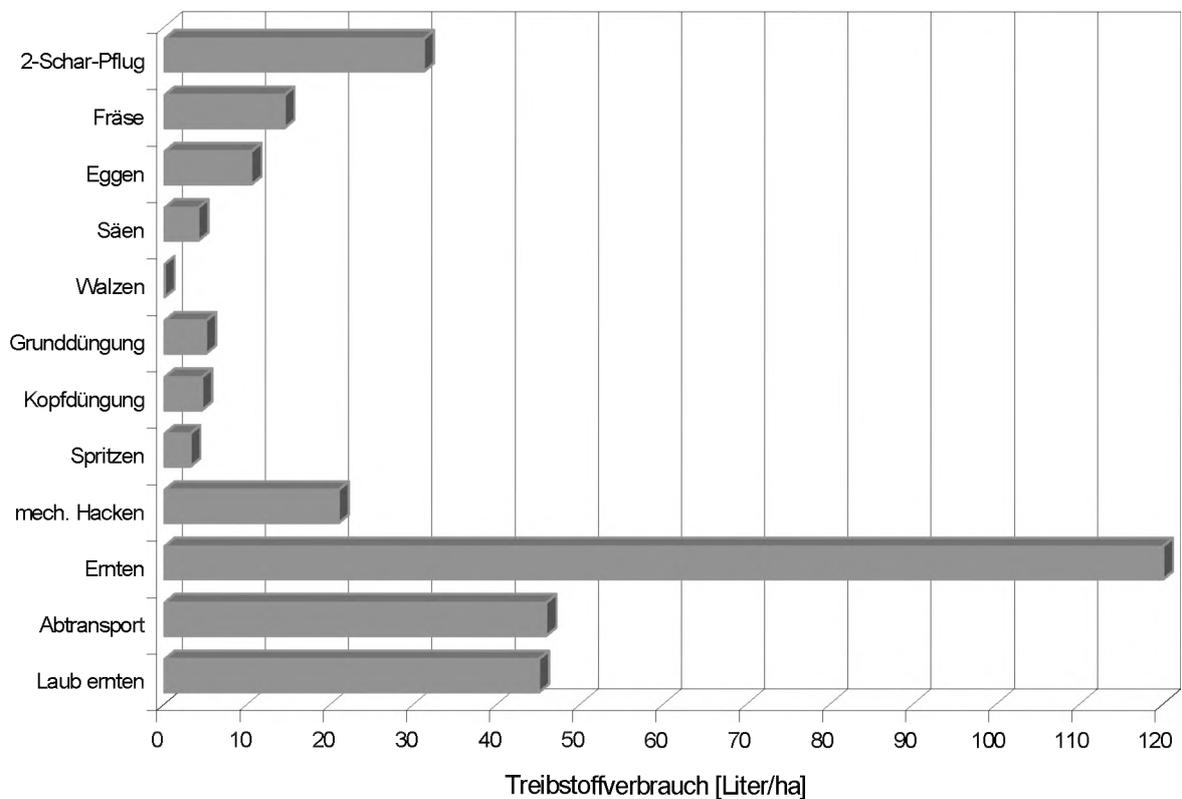


Abbildung 18: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Futterrüben

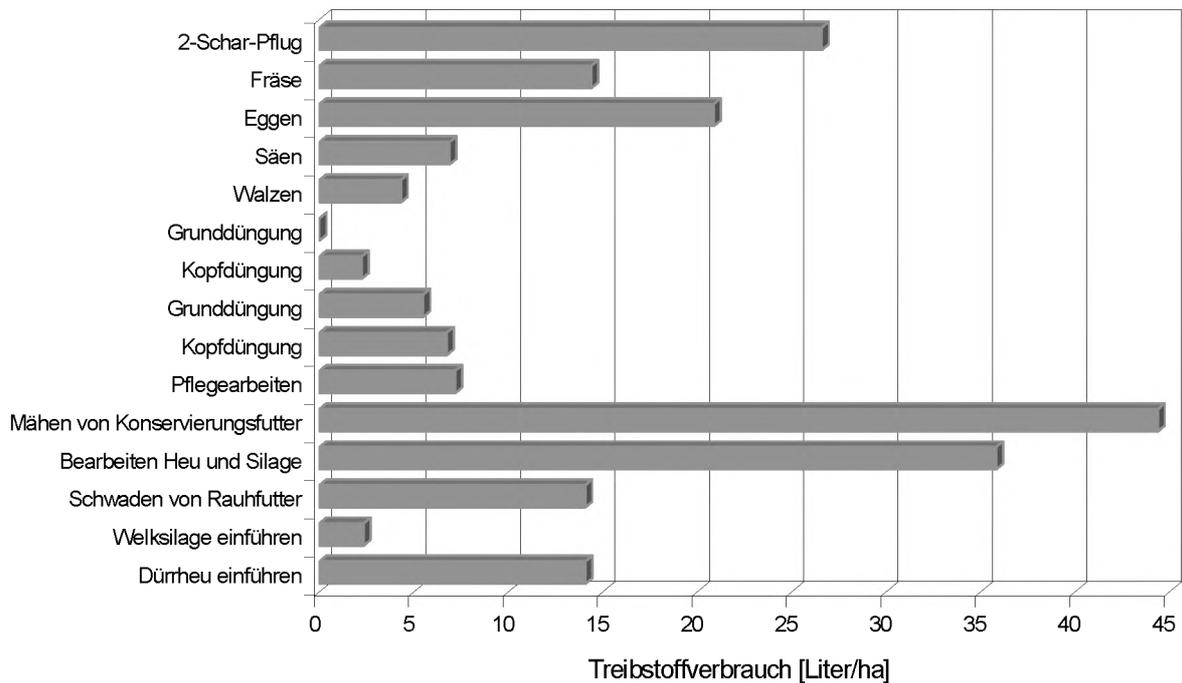


Abbildung 19: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Kunstwiesen

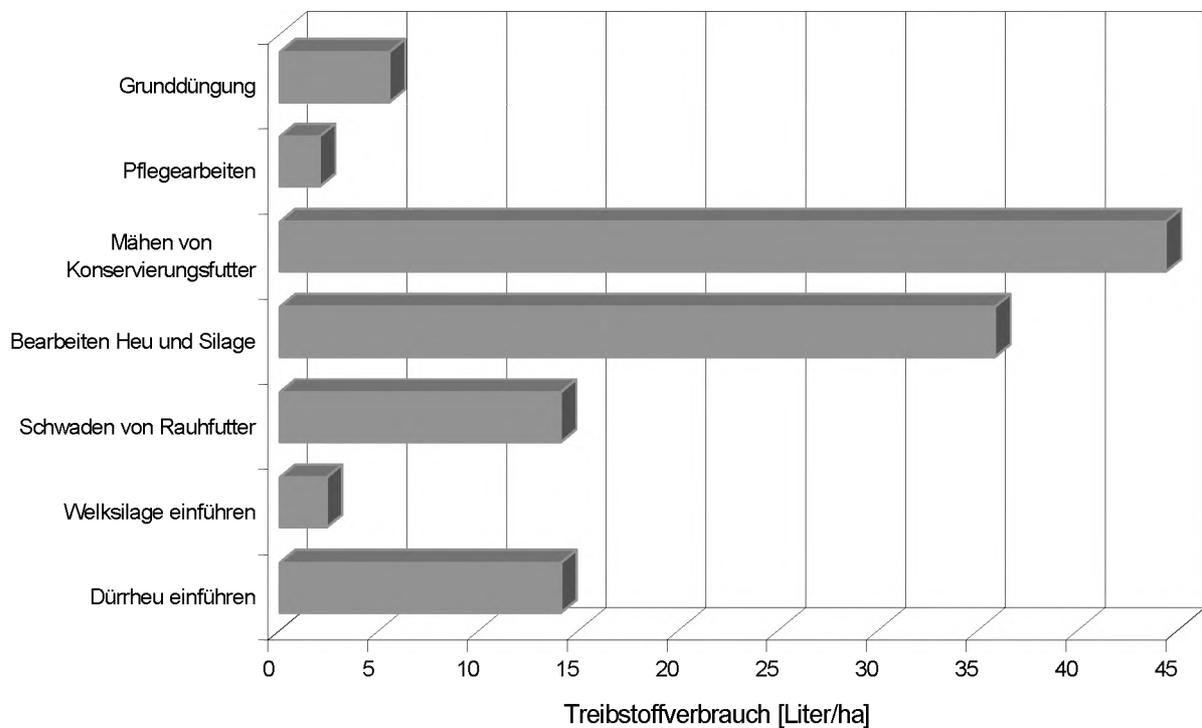


Abbildung 20: Treibstoffverbrauch je Kultur und Arbeitsschritt bei Naturwiesen